农村小型水电站
参考資料

水利出版社

農村小型水电站参考資料

水 利 出 版 社

1956年6月

本資料包括有关小型水电站查勘、設計等建站工作的論述，水利部北京勘測設計院水电組对四川、福建、河北等省几十个小型水电站的調查材料以及該組兩項定型設計的試作——根据苏联圖紙补充而成的木制旋槳式水輪机圖紙及利用渠道跌水建筑小型水电站的設計示例等。

本資料可供小型水电工作者工作參考。

農村小型水电站参考資料

編輯出版者　水利出版社（北京和平門內北新華街三十五号）

北京市書刊出版業營業許可証出字第080号

印刷者　水利出版社印刷厂（蚌埠大馬路四大三号）

發行者　新華書店

170千字　787×1092　1/16　13 2/8印張

1956年6月第1版，蚌埠第一次印刷，印數1—8,000

統一書号 15047.21　定价(10)1.70元

序　言

随着農業社会主义改造高潮的到來，必然会出現一个農業生產的高潮。在農業生產高潮的形势下，農村小型水电站將日漸起着重要作用。

一九五六年全國水利会議根据目前農業合作化發展的需要提出了發展農村小型水电站的任务，但由于我國过去这項工作的基礎是薄弱的，而且到目前为止还沒有定型設計，各地紛紛反映迫切需要关于这項工作的參考資料。为了適应这一要求，我們彙集了水利部北京勘測設計院的內部資料“農村小型水电站参考資料彙編”及“中國水利”和“水利譯叢”上已發表和未發表的几篇关于農村水电站的稿件，編成这本資料，供各地參考。

这本資料包括关于小型水电站工作的論述，水利部北京勘測設計院水电組在四川、福建、河北等省調查几十个小型水电站的材料及对它們的优缺点的分析和叙述；此外还收入了水利部北京勘測設計院水电組兩項定型設計的試作，即根据苏联圖紙补充而成的木制旋槳式水輪机的圖紙和利用渠道跌水建筑小型水电站的設計示例。

由于时間倉卒和我們水平不够，这本參考資料的內容很不完善，特别是有关施工和运轉方面的資料很少，可能还远不能滿足目前小型水电工作者的需要，希望參考这本資料的机关和个人提出意見。

水利出版社

一九五六年六月

目　錄

序言

一、关于小型水电站的查勘和設計

水利部北京勘測設計院水电組

我們于 1955 年做了河北房山、吉林敦化和貴州惠水的三个小型水电站的查勘和設計。房山和敦化水电站已于本年兴建，惠水將于 1956 年建站。在工作中我們遇到了一些問題，在領導上和苏联專家的帮助下，大部分得到了解决。現在把这些問題寫出來，与做小型水电站查勘和設計工作的同志們研討。

I　小型水电站查勘和設計的方法

我們所做的三个水电站的設計，都是按照兩个設計階段進行的，即初步設計和施工詳圖兩个階段。因此，查勘和設計都要在一次做完，剩下的只是施工詳圖的工作。

查勘是为設計收集資料，而小型水电站是为該地区的農副業生產和農村照明服务的，因此，在小型水电站的設計中必須研究工程条件的可能性和經济条件的必要性，从而确定工程的合理性。在設計开始以前，就需要收集足够的資料，以供設計时作为研究上述問題的依据。

（一）工程的可能条件　包括地形、地質、水文、气象、已成工程情况、交通运輸、劳动力和工程材料等部分。

地形資料主要为地形圖。小型水电站的地形資料需要：（1）1:10,000～1:25,000 的建筑区域地形圖。建筑区域地形圖的范圍包括農村水电站供电所涉及的地区或是水电站的各水工建筑物分布的地区。（2）1:500 的建筑物附近地形圖。这一种圖紙所包括的范圍，要足供对各个水工建筑物如引水口、渠道、厂房等的选擇比較之用，应在查勘时按照地形变化和設計者所拟定的各种可能方案來定。

地形圖紙应尽可能采用旧有圖紙，在沒有旧圖时才測繪新圖，特别是比例尺較小的 1:10,000 或 1:25,000 的地形圖，如旧圖比例尺与要求出入不大，都可采用。我們在房山、敦化和惠水的設計中，小比例尺圖紙都是用的旧圖；1:500 的建筑物附近地形圖都是在查勘时新測的。对于旧圖，在查勘时都要加以驗証，如有錯誤，必須改正。

地質資料包括地質圖和查勘說明。由于目前地質工作人員缺乏，小型水电站的查勘一般不能配备專門地質工作人員，在查勘中要由水工人員附帶做些地質工作，所以不要求他們塡地質圖，但要求他們做兩件事情：一件是在建筑物的基础上了解一下复

盖層的厚度和复盖層的性質，方法是挖試坑，把复盖層各層的性質和地下水位記錄下來；另一件是研究建筑物附近地点的旧建筑物的情况，如基礎情况、設計依据和使用后的变化情况及变化的原因等。这些資料对新建筑物的設計有很大的帮助。在挖試坑时，如果發現复盖層在新建筑物建筑預計深度以下，則試坑可挖至預計的建筑深度以下1至2公尺（視地層情况的好坏而定）。挖了試坑以后，可測定一下滲水率。

在地質資料的收集工作中，还可以在現場采取石样和土样，請地質工程师或試驗室鑒定岩石和土壤的性質，作为設計中的參考。

水文資料对于小型水电工作者說來是个最困难的問題。由于小型水电站一般都在河流的上游或支流上，以往的水文資料特別缺乏，因此，查勘工作也就特別困难。

水文查勘的目的是为了在設計中供給水文計算以确定水电站的設計引用流量和其他設計用的最大和最小流量的充分資料。但是，由于原有資料的缺乏，在查勘中就需要把水文計算和水文查勘工作結合起來，逐步研究，逐步收集資料补充，以便得到比較圓滿的結果。

我們在三个水电站的查勘中，对于水文查勘共做了以下几方面的工作：

（1）收集对建筑地点有关系的河流上的水文和气象資料。这是为了研究采用各种水文計算方法的可能性，也是为了供給水文計算的資料。

（2）現場水文測量，包括枯水流量的測定、洪水流量的測定和一年中水位变化的大致情况的測定。这种測定，是水文計算中最可靠的和最重要的依据。

測量工作包括河床比降、水面比降、河床断面測量、河床复盖情况記錄等等。

（3）現場水文調查。一部分調查与測量是配合的，包括歷史上的洪水位和枯水位的調查；另一部分是为了了解水文情况的，例如水磨生產量的变化情况、灌溉用水情况等等。由于实际資料的缺乏，在查勘中就需要引用各种各样的遺留的水文痕迹來說明过去的水文情况，以便把人們的記憶与实地上遺留的各种痕迹配合起來，从而求得各种可靠的情况。

气象資料是供給水文計算、电气設計、厂房的通風和保温設計等应用的，其中有下列各項要求：

（1）降雨量和蒸發量記錄；

（2）气温、風速和湿度的最大、最小和平均值、風的經常的方向、降雪降霜的每年起迄时間和日数、一年中落雪的次数和最多落雪的季節、一年中冰冻的起迄日期和冰冻日数、冰冻最大厚度等。

气象資料可向距建筑地点最近的一个气象站索取。資料上要注明統計起迄年月和供給資料單位的名称，并要求供給資料的机关注明資料的可靠程度，以便于采用时適当地考慮它的正确度。

已成工程的調查是我們查勘中的一項重要工作，因为在新建工程的設計中需要考慮与已成工程的关系；而且还因为已成工程的設計、施工和运用情况是新建工程設計的重要参考材料。調查內容包括：

（1）已成工程的設計情况：設計中的水文分析成果、設計引用水量以及它与新建工程的关系、設計規划中所考慮的問題的結論、建筑物設計的各項数据、地質数据、

建筑材料的选用及选用的原因等。

（2）已成工程的建筑情况：建筑开挖以后所發現的岩石和土壤情况、建筑中遇到的困难問題、建筑材料的供应情况等。

（3）已成工程的运用情况：运用以后的工程与原設計的差別、發生的問題及其原因、处理的方法和效果与人民反映的意見等。

交通运輸的調査 主要是作为設計預算和施工組織設計的資料。在一般情况下，小型水电站的各个机械零件都是不太重的，运輸問題不大。对于交通情况，主要是要了解建站地点距公路的远近；如果沒有公路直达建站地点，是否还有其他交通工具可資应用。

劳动力調查 主要是要了解在建站地点附近有沒有条件解决机械安裝方面的技術力量、有沒有技工可以招請或調用。至于泥水工、木工和普通工，因为用量不大，一般尙無問題。

工程材料的調査 工作量較小。因为，小型水电站所用的建筑材料不多，只需了解工程上所用的各項材料的產地、儲存量、运送和开采情况、价格、运价等等。在進行工程材料調查时，要注意研究已成工程的用料情况。工程材料应尽可能利用能就地开采和应用最廣泛的材料，使工程造价比較便宜。

（二）經济条件的資料 是确定电站建筑的必要性的依据，它充分反映在負荷資料中；負荷数字的大小，表示对該工程要求的程度。

負荷調查应从当地縣区政府的意圖出發。当地縣区政府应当按照当地的經济情况提出負荷要求，調查者即按照他們的意圖，分門別类進行調查。

農村水电站的負荷一般包括：抽水灌漑、農產品加工（碾米、榨油、軋花打包、磨面等）、小城鎭和農村照明等方面。对于各項負荷，都应調查它的目前需要和將來發展的可能情况。

抽水灌漑用电 要确定灌区位置和范圍、抽水机站的設立位置、灌区畝数、作物用水量和用水的过程綫（干旱年份按月計算的年过程綫）；因为要根据抽水机站的位置确定輸电的距离，要根据用水量和用水过程綫以及抽水高度來确定用电量。

農產品加工用电 要确定各种農產品的年加工量、現有加工用的各种机器的容量（馬力数）和使用情况、加工厂將來發展的計划等等。

小城鎭和農村照明用电 一般的照明，要調查居民的戶数和人数（按鎭和村庄分，或按居住集中点分），机关、学校和工厂、商店的照明，要調查实际需要量，小商店按照一般用戶計算。

以上这些資料的來源，一般是根据縣区政府的統計，然后选定重点，深入了解一些具体情况和居民的意見和要求。

查勘和确定各項資料的过程大致是：在到現場去進行查勘以前，必須与有关部門联系，了解情况并征求他們的意見；同时收集政府各机关現有的各种有关資料，并加以整理和研究，以便弄清資料的來源，提出問題。这样，在查勘以前就可以达到基本上掌握建站地点已有的各种資料和政府各有关部門的意圖。其次，要進行現場查勘。現場查勘要在已經收集的資料的基礎上進行，有的只要做些校核工作，有的要做些补

充的收集工作。同时，对已經提出的問題，还要進行深入研究，加以解决。第三步，就是把收集的資料和問題向政府有关部門介紹和商討，然后再把它肯定作为設計的依据。各項資料中特別是負荷資料，必須經过三个步驟反复研究然后肯定。

Ⅱ 小型水电站初步設計的要求

小型水电站的初步設計（按兩个設計階段划分）工作包括：負荷曲綫的編制、水文分析、水能計算、水工建筑布置、水力計算、投資概算和画圖等七部分。現在將各部分的工作要求和方法介紹于下：

（一）**編制負荷曲綫**的要求，是为了做成建站运轉第一年的冬季和夏季的代表負荷曲綫，幷大約估計五年以后的負荷需要情况。大型和中型电站的設計中，要求考慮第一年和第五年以及較長远的負荷情况；而小型水电站由于容量小、農村經济的統計材料不足、負荷分配調整也比較容易，所以不需要也不容易估計得很远，因此，只要求能做出建站后第一年供电时的負荷曲綫就够了。負荷曲綫上要注明負荷率，以便研究联动机的选擇問題。

負荷曲綫的編制方法。根据各类用戶的用电情况做成各类用戶的日用电过程綫，然后再把各类日負荷綫累加起來再加上輸电損失和厂用电，便可以得到日負荷的总过程綫。

（二）**水文計算**的要求，是供給水能計算的流量資料，所以对它的具体要求是根据可能獲得的水文資料和水能計算的要求來确定。小型水电站一般是日調節或無調節的，水能計算的要求比較簡單。目前所遇到的主要問題是水文資料缺乏。我們今年所做的三个小型水电站都是缺乏水文資料的。房山和惠水的兩个站，只是根据查勘时測得的流量和調查所得情况分析确定的；敦化站則是采用了鄰近河流的五年水文記錄而确定的。因此，它們的設計保証率也都是大致估計而沒有計算的依据的。我們的意見，在目前小型水电站建站地点水文資料極缺乏的情况下，应当着重水文的查勘工作和水文的分析工作；尽一切可能去獲得歷史上的各种水文現象，据以大致确定水电站的設計引用流量和設計保証率，幷以計算方法來驗証确定的数字，加以修正，而后采用。

（三）**水能計算**的要求，是确定水电厂的容量和机組数，計算水电厂的年电能。由于小型水电站一般是日調節或無調節的水电站，水头变化不大，可以当作是沒有变化的。洪水时期的水头变化可能較大，但由于小河流上的洪水期一般都很短促，所以影响不大。因此，只要依照水电站的上下游的平常水位差減去主要的水头損失（渠道和引水管的摩擦損失）即可。水电厂的平均出力，則以簡單的公式（7.5～8.0）QH瓩計算（H是除去主要水头損失以后的淨水头）。由于水量和水头的計算都是很粗略的，出力計算也就沒有詳細考慮水輪机的效率变化的必要。同时，目前要獲得正确的水輪机的效率曲綫很困難，而且有时还是不可能的。

由于对水輪机的出力計算作得很粗略，在选定發电机容量时应使發电机容量比水輪机容量大一些。因为，發电机容量虽然大一些，但它的价格幷不增加多少，却可以避免由于选用發电机容量过小而限制了水輪机的出力。

小型水电站的机組数，一般采用一組或二組。机組数过多就要增加基建的投資和运轉的費用。容量在50瓩以下的水电站，可采用一个机組，容量大于50瓩的，則按負荷变化的情况选定一組或二組。

在有日調節水庫的水电站容量，用平均出力除以負荷率來确定。如沒有負荷曲綫，負荷率可按用戶性質选用40％至60％（如主要为照明用戶，則夏季負荷率約为20％左右）。

如果有季節电能的用戶，則可考慮根据季節电能的需要量和可能的來水量而擴大电站容量。

（四）**关于小型水电站水工建築物的布置**，需要考慮尽可能地減少建筑物的数量和采用簡單型式的建筑物，可以緩修的建筑物就应緩修，以便用最小的第一期投資完成水电站的建筑。

水电站的电能用戶和用量是随着地区的農業生產的發展而逐步發展的，所以水电站的用水量是逐漸增加的，对运轉要求也是逐步提高的；因此建站的初期可以使用簡陋的水工建筑物，而在电站建成以后再逐步加以改善。当然，这不是指的那些在改善时对水电站的运轉影响很大的建筑物（如厂房的水下建筑部分就不宜于逐步改善）。

水工建筑物的布置，需要从多方面考慮，幷做出各种比較方案，以便选擇最經济而合理的布置。如果建站的要求迫切，时間很緊，則水工布置的比較，可以不做很多的計算工作，而可用一般的常識來衡量各个布置的优劣条件。在比較的方法上，应多做討論，少做計算。

小型水电站的厂房布置，須考慮水輪机、發电机、配电板和运轉人員在工作中的方便条件，还須考慮到升压站的位置与配电板出綫的方向。小型水电站的厂房面積，应尽可能地縮小，但必須留出运轉和修理的活动場所。一般地，在机械运轉时，它的活动構件与牆壁或其他机器之間必須有0.8～1.0公尺的地方，以便运轉人員往來工作。因此，先确定各种机器必需的位置，以后便可以确定厂房的必需面積了。

（五）**水力計算和結構計算**，主要是对各建筑物的校核計算，水工建筑物的尺寸可按照其他已成工程的尺寸來选定。对于水电站厂房則应計算以下几項：（1）厂房的总体穩定。（2）厂房水輪机室和尾水室牆的断面校核計算（有水和無水的兩种情况的校核計算）。（3）發电机室和水輪机室的地板和承重梁的应力計算和結構設計。（4）尾水管的水力計算，主要校核尾水流速是否超过1.5公尺。（5）進水流速和通过攔污柵的流速、最低水位时的可能最小進水量等等。

（六）**小型水电站的电气設計**分兩部分：一部分是厂房內部的“厂內电气”設計，包括發电机选擇、配电板选擇、主結綫圖和升压变电站等部分；第二部分是輸电綫路的設計，包括輸电綫截面选擇、綫杆設計、电綫的各种应力計算和降压变电站的选擇等部分。其中最主要的是主結綫圖的确定，它应当从用戶的要求、运轉的方便和安全以及綫路的經济等方面來進行各种結綫方式的比較，然后确定。由于小型水电站的容量較小，应采用比較簡單、运轉方便的主結綫（可参考“農村水电站”第十三章）。

小型水电站的輸电綫，一般可采用鉄導綫及“兩綫——地”制，以節省輸电綫的

材料，減少基建的投資。

（七）**小型水电站的初步設計圖紙**，要求有下列几張：

1.說明水电站的位置、它的輸电范圍和水工建筑分布范圍的圖紙，圖中表明水电站的总布置和輸电綫路的布置和負荷中心点。在圖紙中最好能包括一个縣城或較大的城市。比例尺不小于五万分之一，不大于一万分之一。

2.說明利用河段坡降情况的河床（或枯水面）坡降綫。圖上表明电站引水口和尾水出口的位置。如果在河段上有其他水工建筑物或其他用水的引水建筑物，都要表明，河段范圍按具体情况而定。

3.引水道式水电站需要有电站引水口到尾水出口的引水道縱剖面圖。圖上表明引水道各种技術数据、上下游的平常、最高和最低水位、厂房的位置等。

4.說明各建筑物总布置的各主要水工建筑物（進水口、厂房等）的平面布置圖。比例尺不小于五百分之一。

5.各水工建筑物的主要剖面圖，說明各建筑物的結構形式、構件的尺寸等。

6.厂房布置圖，分为發电机層平面布置、水輪机層平面布置和尾水管層平面布置、厂房的前視和后視圖、厂房的縱橫立剖面圖。比例尺不小于一百分之一。

7.厂房內的电气主結綫圖，說明輸电方式、發电机、变电站和輸电綫的运轉关系，用單綫表示。

（八）**小型水电站的效益計算**是很困难的，而且它的作用也远非数字可以表示的。抽水灌溉部分可計算增產量。副業加工和照明用电則計算每年的發电度数，并按以一般价格出售，計算每年可收回的电价即可。

二、小型水电站的合理型式

苏联技術科学碩士 B.A. 巴蘭諾夫作

I 灌漑渠道上的小型水电站的建筑

党和政府关于農業电气化的決議中，預定要修建数以百計的小型的農村水电站，以期廣泛利用小河流和灌漑渠道上所蘊藏的水能。第四个五年計划里所拟定的建筑計划需要大量的劳动力和建筑材料，这一情况提出了一个急待解决的問題，即改進小型水电站的結構使其更为合理，以期節約貴重的建筑材料、減少建筑工作量、縮短施工期限和改良机組等。

由于烏茲別克苏維埃社会主义共和國領土內的地形复雜，“小型水能”可以利用的水头的范圍很寬——从1公尺至100公尺。但值得注意的是極大多数的農村水电站都位于各灌漑渠道上，所利用的水头一般为3.5公尺，因此低水头的小型水电站在烏茲別克獲得了最为廣泛的發展。可是这种低水头水电站的單位容量的基建投資却是較高的。

烏茲別克苏維埃社会主义共和國內的低水头農村水电站，大多数是按照烏茲別克農村电气化总局的标准設計建筑的。这种标准設計所用的主要建筑材料是燒磚，而厂房的牆壁則是采用土磚。这就大大地減少了混凝土和木材的用量（見圖1）。电站內安裝有一組或兩組动輪直徑为0.5至0.8公尺的开敞式立軸水輪机（法蘭西斯式或旋槳式），并采用手动調速。水电站标准設計中还有的是安裝动輪直徑小于1公尺的簡單的木制旋槳式水輪机。这种标准設計的电气設备用得最多的是CГ型三相交流發电机，这种發电机当轉速为每分鐘1,000轉时，它的出力为15至60千伏安。發电机是由水輪机立軸借皮帶來帶动的，或者是安裝一个中間傳动軸來帶动（当水輪机的轉速不足时或是还要帶动其他某种机器时）。

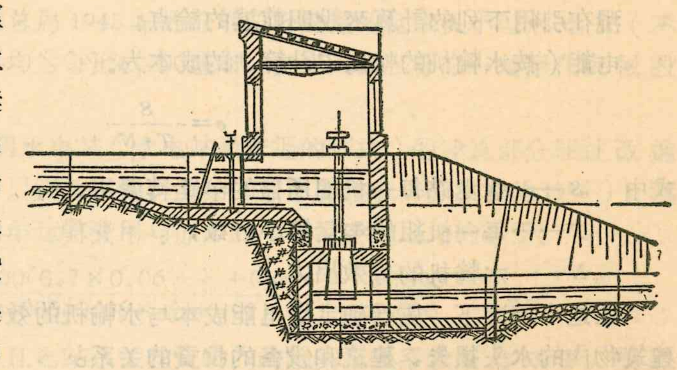


圖1 烏茲別克農村电气化总局1945年制定的水头小于5公尺的農村水电站的标准設計略圖

必須指出，由于地方工厂所出產的水輪机的品种太少，因而使目前修建水电站的工作遇到了一些困难。例如在旋槳式水輪机中（不包括木制旋槳式水輪机在內），至今在烏兹別克苏維埃社会主义共和國只出產一种 ПРК-70 ВО-60 牌号的水輪机，它的动輪是 К-70 型（直徑 600 公厘）。因此就談不上適应不同工作条件來选擇水輪机組。

因此，上述的电站型式的改進之所以成为特別重要的問題，是由于这种改進可使整个电站具有最大的效能。当然，擴大小型水輪机出產的品种也是重要任务之一。

Ⅱ 小型水电站的合理化問題

任何一种生產的合理化，都是与各种改進联系着的，而这种改進在大多数的情况下都是通过某些簡化來达到的。合理化的主要目的即在不降低產品質量和不增加產品成本的条件下增加產品的数量，否則合理化不过是一种帶有各种不良后果的簡化而已。在我們所討論的这个情况下，建筑水电站的目的就是为了生產一定質量（电压，頻率）和成本的电能。

牽涉到水輪机工作構件的水輪机結構上的簡化，在大多数的情况下，將引起水輪机效率的降低，因而減少發电量。此外，進水建筑物和尾水建筑物內的水头損失也会影响水电站的总效率。为了節省建筑材料而進行的結構簡化是与減小輸水管过水断面联系着的，这一簡化也会導致發电量的減少。但另一方面，如果簡化机械設备，特別是簡化水电站的水工建筑物，旣可節省基建投資和修理費用，又可降低运輸費用。

在由于簡化电站結構而降低了水电站的总效率的情况下，电能成本应隨运轉費用減少的程度而有所降低，但在某些情况下也可能有些增加。因此当比較小型水电站的各个設計方案（各个方案的电能成本是不同的）时，評价合理化措施的效能的标准应当是建筑材料和投資的節省以及施工期限的縮短。

但必須指出，在个別情况下，如果电力成本的某种短期的增大能促使某一較重要的國民經济問題迅速得到解决，則这种电能成本的增加是可以允許的。

現在引用下列的計算來說明前述的論点：

电能（按水輪机的軸出力計算）的成本为：

$$e=\frac{S}{T\cdot N}$$

式中 S——水电站每一机組所需的年运轉費用；

T——每一机組的年运轉小时数；

N——水輪机的有效出力。

在这个情况下，应当确定出电能成本与水輪机的效率、水电站進水建筑物和尾水建筑物內的水头損失、建筑和設备的投資的关系。

按農村水电站通常所用的运轉費用的計算方法*，小型水电站的年运轉費用可按下式确定：

* 見A.П.庫兹聶佐夫和A.П.兹拉特科夫斯基著“農村水电站”1941年版：对于單机組而容量小于50瓩的水电站，計算运轉費用是采用2～3个管理人員再加上每年擦洗潤滑用油費1,000盧布。

$$S=(ac_1+bc_2+c_3)m \cdots\cdots (1)$$

式中 c_1——水工建筑物的基建总投資；

c_2——机械設备的总投資；

c_3——人員（包括臨时工在內）和运轉材料（潤滑和擦洗的油料）等的年总費用。

$a\approx 0.06$——水工建筑物的折旧和修理費用的提存系数；

$b\approx 0.1$——机械設备的折旧和修理費用的提存系数；

$m\approx 1.1$——行政管理費用和稅款等的提存系数。

計入了水电站建筑物內的水头損失的水輪机的有效出力为：

$$N=N_{\text{вод}}(1-\xi)\eta \cdots\cdots (2)$$

式中 $N_{\text{вод}}$——按毛水头計算得的出力；

$\xi=\frac{\Sigma h}{H}$——水电站進水建筑物和尾水建筑物內的总水头損失系数；

η——水輪机的效率。

根据公式（1）和（2），進行比較的二电站方案的电能（按水輪机軸出力計算）設計成本的比如下式所示：

$$\frac{e^1}{e}=\frac{(1-\xi)\eta S^1}{(1-\xi^1)\eta^1 S} \cdots\cdots (3)$$

在上式中，机組的年运轉小时数是相等的。

根据公式（3），假如水电站在改進以后，進水和尾水建筑物中的水头損失系数的增加不超过下式中的 $\Delta\xi$ 值，則改進后的水电站的电能成本就不会增加：

$$\Delta\xi=\xi^1-\xi=(1-\xi)\left(1-\frac{S^1\eta}{S\eta^1}\right) \cdots\cdots (4)$$

因此，公式（4）确定了小型水电站建筑中“合理化”和“簡化”之間的理論界限。但是当应用这一公式时，在各个情况下，还須注意到前面所講到的該工程对國民經济的意义。

按照烏兹別克農村电气化总局 1945 年的标准設計建造的低水头小型水电站（不計入引水道），它們的單价平均为每瓩6,000盧布，其中大致三分之一是用在机械設备上。

如果出力为30瓩的單机組水电站（水电站最普遍的形式）的建筑部分經过改進后可以減少建筑材料的用量（以錢数表示，例如可以節省建筑部分投資的30%），那末按照公式（1），水电站的年运轉費用与原來的年运轉費用之比約等于：

$$\frac{S^1}{S}=\frac{30\times 6{,}000(0.7\times 0.06\times\frac{2}{3}+0.1\times\frac{1}{3})+15{,}000}{30\times 6{,}000(0.06\times\frac{2}{3}+0.1\times\frac{1}{3})+15{,}000}\approx 0.9$$

如果水輪机的效率不变，且电站水工建筑物內的水头損失系数原为10%，按照公式（4），則水头損失系数的許可增加数値为：

$$\Delta\xi=(1-0.1)(1-0.9)\times 100=9\%$$

在下面，这个数字將用作为評价电站樞紐的合理化方案的效果的指标。

兹將改進小型水电站結構的一般原則归納如下：

（1）在小型水电站中采用手工業生產的簡單水輪机（这种水輪机比新型的水輪机的效率低 20% 或更多些），乃是一种暫时性的措施。

（2）在水电站安裝簡單的水輪机，可采用最低廉的和簡陋的水工建筑物，但要使得建筑物內的水头損失为最小〔公式（3）〕。

（3）采用高效率的水輪机，加大流速，从而可以稍許縮小水电站的水工建筑物的尺寸。这首先是針对水輪机室而言的。

（4）自动化是改進小型水电站的最有效的方法之一，其目的在于節省看管机器所花的运轉費用〔式（1）中的 c_3〕。

Ⅲ　節省水电站建筑費用的可能性

在低水头小型水电站樞紐的組成部分中，最貴和最复雜的是它的建筑部分。按水力發电設計局小型电站設計处的資料，容量自 25 至 150 馬力的低水头單机組的小型水电站樞紐的主要部分的投資如下（以总投資的百分数表示）：

建筑部分……………………63～67

水力机械設备……………26～30

电气設备……………………6～8

在电站樞紐建筑中最昂貴和最复雜的施工部分是水电站厂房的水下部分（正確的說是地下部分）。它的投資超过建筑部分投資的一半，亦即約占水电站全部投資的30%以上。假如將水輪机流出的水用水管引到机器房的旁边，則可大大地減少建筑工作量，或者甚至可以完全不要厂房的水下部分。

圖2　第一种方案。用尾水管來簡化厂房水下部分的安裝立軸开敞式水輪机的低水头小型水电站

1—水輪机；2—尾水管；3—廠房

在圖2、3和4中，提出了三个沒有水下建筑部分的小型水电站的平面布置方案，这三种方案適用于不同型式的水輪机。

第一种方案，电站厂房的水下部分用圓井代替，水輪机的尾水管伸入井中。井的下部与一埋設于土內的水平管道相联接，水平管道的埋設深度应与尾水渠內的水位相適应。

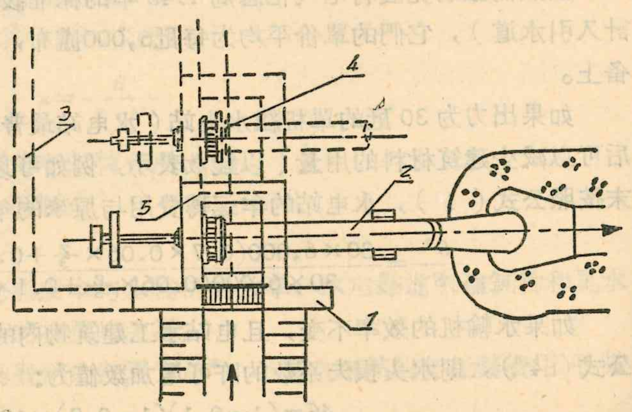


圖3　第二种方案。裝有橫軸开敞式水輪机而沒有水下建筑部分的低水头小型水电站

1—水輪机室；2—尾水管；3—机器房；4—第二个机組；5—閘牆

在这种情况下，水平管道不会發生真空，因此它的嚴密性并沒有什么重要意义，所以可采用混凝土管或用磚砌等，这是这种方案的主要优点。

上述方法，可以相当地減少立式水輪机的电站樞紐的圬工工作量。如果采用于橫式水輪机的小型水电站时，这种改進方法的效果尤其顯著。

第二种方案是安裝开敞的橫式水輪机的低水头水电站的一种方案，这种电站的水輪机是安設在磚砌的水輪机室內。水輪机室具有从水力計算和修理时拆卸方便的观点看來的最小尺寸。水輪机的尾水管在水平方向延伸，將尾水導至位于机器房（在圖上用虛綫表示）旁边的渠道內。在这个圖上用虛綫表明了第二部水輪机組的位置。第二部水輪机与第一部裝設在一个总的水輪机室內，并且可以用閘牆將它与第一部隔开以便進行修理。顯然，当修理第一台水輪机时，整个水电站就要停止运轉。

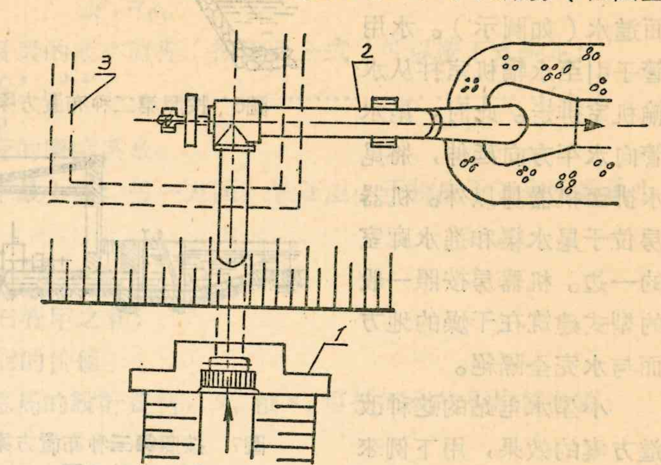


圖4　第三种方案。裝有橫軸密閉式水輪机而沒有水下建筑部分的中水头和低水头小型水电站

1—進水廊道；2—尾水管；3—机器房

因此，对于兩台水輪机前后串列在一个水輪机室中的这种布置方案，必須全部停电的修理次数比起單机組电站并沒有增加，但是却能縮小双机組水輪机室的尺寸，并簡化水輪机室的結構。

还必須指出，双机組电站的这种布置对于采用旋槳式水輪机的情况也是合理的（因为旋槳式水輪机的不穩定的工作性能，在導叶开度很小的情况下將影响它的效率）。

当尾水管延長部分的直徑为 700 公厘、長度为 10 公尺、流量为 1.2 秒公方（当水头为 4 公尺时机組的出力为 30 瓩）时，它的水头損失約为 0.2 公尺，即不大于毛水头的 5%。同时由于完全不要厂房的水下部分所節省的基建投資，毫無疑問地將要大大地超过电站建筑部分投資的 30%。

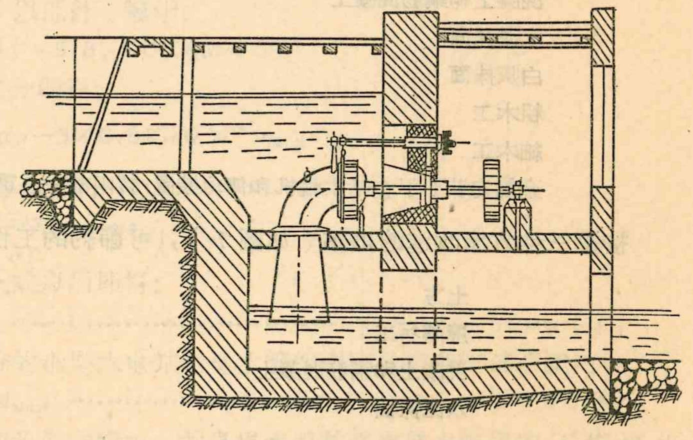


圖5　普通形式的低水头水电站

因此，上述資料証明，小型水电站按第二种布置方案的改進，不但大大地減少了建筑投資，而且还可以降低电能成本。这充分証明了这个方案的合理性。

为了比較起見，引用了圖5和圖6。

按照第三种方案，水輪机通常裝設在不大的基礎上。它的外殼可以做成各种形式（如蝸式、方形、圓錐形），并且是側面進水（如圖示）。水用管子引至水輪机室并从水輪机室排走。此时，尾水管向水平方向延伸，將尾水排至机器房以外。机器房位于尾水渠和進水廊室的一边。机器房按照一般的型式建筑在干燥的地方而与水完全隔絕。

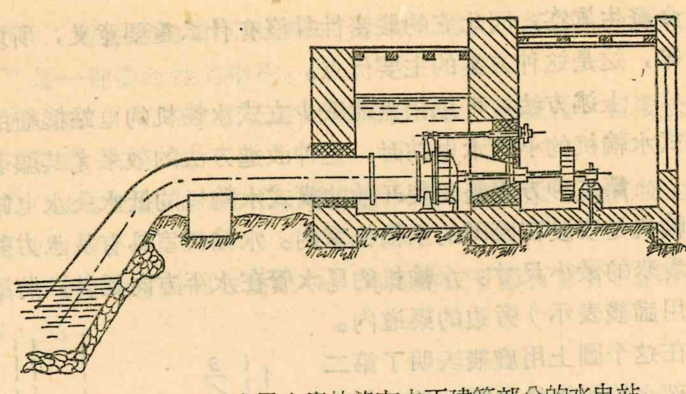


圖6 按照第二种布置方案的沒有水下建筑部分的水电站

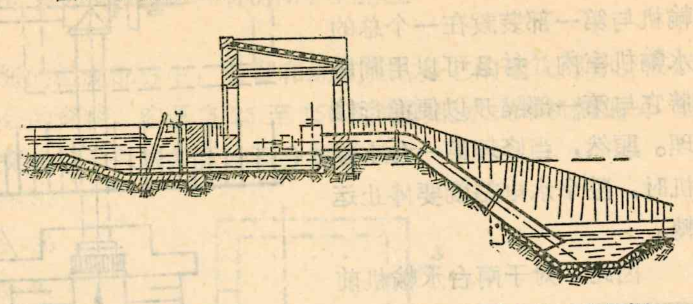


圖7 按照第三种布置方案改進以后的農村水电站（根据圖1）的略圖

小型水电站的这种改進方案的效果，用下例來加以說明。

在圖1中表明的按照烏茲別克电气化总局的标准設計建造的農村水电站，当水头为4公尺、流量为1.2秒公方时，它的主要的建筑工作量如下：

土方	1,200立方公尺
鋪石	100平方公尺
燒磚圬工	120立方公尺
土磚圬工	50立方公尺
混凝土和鋼筋混凝土	13立方公尺
水泥抹面	210平方公尺
白灰抹面	270平方公尺
粗木工	100平方公尺
細木工	10平方公尺
金屬安裝（不包括水輪机和傳动裝置，該兩部分总重約1.5噸）	350公斤

按第三种方案改進的电站（如圖7），可節約的工作量如下（以百分数表示）：

土方	50
燒磚圬工	40
混凝土和鋼筋混凝土	70
水泥抹面	80

增添700公厘直徑的水管和水輪机的外殼以后，金屬安裝的工作量的增加不超过1.3噸。

由于第二种和第三种方案的尾水管中应保持有眞空，管子最合適的材料是用厚度能保証嚴密焊接的鋼板。在需要时应当用角鉄做成加勁环來保証管子必要的强度（抵抗外力挤压）。在第三种方案中的压力水管的材料則有較大的選擇范圍。

除去結構上的要求以外，上述各方案中的尾水管的最小長度都应滿足滲漏（压力室至尾水渠的滲漏）校核計算的要求*。

沒有水下建筑部分的小型水电站的尾水管的直徑按照公式（4）应这样來确定，使加長的尾水管段中的水头損失不超过下列数值：

$$\Delta\xi_1 H_{бр}$$

根据这个条件，尾水管加長段的最小直徑（按道西公式）可以按下式确定：

$$d_{мин}=\left(\frac{0.083\lambda l Q^2}{\Delta\xi H_{бр}}\right)^{0.2} \quad \cdots\cdots(5)$$

式中 $\lambda=0.025$——大直徑水管的摩擦系数。

采用的尾水管的直徑应大于最小値；另一方面，它还应小于相应于下列函数最小値的經济直徑：

$$S_1+S_2=f(d)$$

式中 S_1——一年修理费用和折旧費用之和；

S_2——一年中損失的水能的价值。

按照烏茲別克農村电气化总局的設計資料，S_1 和 S_2 可按下列的平均值計算：

$$S_1=\alpha p d$$

式中 $\alpha=0.05$——水管的折旧和修理費用的提存系数；

$p=800$ 盧布——1.0公尺直徑的水管每公尺長連同安裝的价格；

d——水管直徑。

$$S_2=\Delta N\eta_{агр}Tl_{эл}$$

式中 ΔN——每公尺水管的水能損失；

$\eta_{агр}=0.65$——水輪發电机組的总效率；

$l_{эл}=0.4$ 盧布/瓩时——电能成本；

$T=3{,}000$ 小时——机組的年运轉小时数。

每公尺水管的水能損失（以瓩計）等于：

$$\Delta N=9.8Q\times0.083\lambda Q^2 d^{-5}$$

因此，將 S_1+S_2 对 d 微分即得：

$$\frac{d(S_1+S_2)}{d\ d}=\alpha p-5\times0.815\lambda Q^3 d^{-6}\eta_{агр}Tl_{эл}$$

由此可得水管的經济直徑 $d_{эк}$ 为：

$$d_{эк}=\left(\frac{5\times0.815\lambda\eta_{агр}Tl_{эл}}{\alpha p}\right)^{1/6}\sqrt{Q} \quad \cdots\cdots(6)$$

如以上述平均数値代入上式以后即得：

$$d_{эк}=1.1\sqrt{Q} \quad \cdots\cdots(7)$$

因此，沒有水下建筑部分的小型水电站的尾水管的直徑 d 应在下述范圍內：

$$1.1\sqrt{Q}>d>d_{мин} \quad \cdots\cdots(8)$$

在上述小型水电站的各种改進方案中，加長尾水管并沒有使水輪机的工作惡化

* 指的是尾水管出口的位置必需滿足水輪机室到尾水渠間地下滲透長度的計算——譯者。

（指效率和空蝕方面），在水电站的全部水能平衡中，除了加長的尾水管段內所產生的不大的水能損失以外，并沒有造成其他的水能損失。但由于加長了水平尾水管得以能將厂房布置在尾水渠的旁边，因此：

（1）电站樞紐完全不需要水下建筑物；

（2）減小了机器房基礎的深度；

（3）減省了开挖厂房基坑的土方工作量；

（4）施工时不必進行排水，并且不需要建筑圍堰；

（5）不必設置尾水閘門（不必修建下游的工作桥和有閘槽的支墩）。

由于所有上述有利因素，可大大地縮短施工工期，減少材料的用量和降低水电站的投資。水电站投資的降低总数大大地超过水輪机和尾水管所增加的投資数。

上述的理論和近似的計算表明，前面所建議的各种水电站的型式应当加以重視，并可推荐为水电站的合理型式而加以推廣。

当前設計機構的任务是制訂各种具体情况下的水电站的技術設計，以便在实际中校驗上述建議，并修正沒有水下建筑的水电站的計算方法和結構。在今后对这些电站型式所進行的理論研究任务中(其目的是拟訂水电站的各种标准設計)，还应当根据水輪机水力性能的研究和修正后的技術經济計算來确定它們在水头和流量方面的適用范圍。

除了以上所說的以外，还可能有基于其他原則的小型水电站的改進方案。例如不用皮帶傳动就可以大大減小机器房的面積。如果在水头和出力的一定配合下，將СГ型*發电机直接裝在轉速較高的（例如每分鐘1,000轉）横軸水輪机上，就可以不用皮帶傳动。近似計算表明，从4～5公尺水头起始就可以这样做。

Ⅳ 尾水管的水力計算

当設計沒有水下建筑的小型水电站的加長尾水管时，主要問題之一就是确定当調節導叶时尾水管內由于水錘而產生的最大压力降低。

当水管中產生水錘时压力波往返一次的時間等于：

$$t=\frac{2l}{c}\approx\frac{l}{500}$$

式中 l——水管長度（公尺）；

$c\approx1,000$——音波在水中的速度（考慮了鋼管管壁的彈性）；

t——時間（秒）。

由上式可見，在長度小于50公尺的水管中，水錘压力波往返的時間約为百分之几秒。因之，在長度通常小于50公尺的加長的尾水管內，由于水輪机的導叶关閉得很緩慢（特别是当采用手动調速时），不应当是直接水錘。

因此，沒有水下建筑的小型水电站的加長的尾水管，应当按間接水錘來計算，这种水錘通常是小于直接水錘的。

最危險的是当水輪机正在滿出力工作时將水輪机導叶全部关閉而產生的压力降低。此时，尾水管中的流速变化达到它的最大值，也就是等于流速值。

* 農村水电站中發电机最常用的型式。

在下面引用有名的均匀断面水管中的間接水錘的近似計算公式（米苏公式）和圓錐形擴散水管的近似計算公式（夏伯夫公式），以及根据上述二式得到的計算断面变化的加長的尾水管的普遍公式。

1.均匀断面的水管

（A）直接水錘

关閉水管的時間：

$$T\leqslant\frac{2l}{c}\quad 且\ V_T=0$$

按照动量和冲量定理（見圖8）可得：

$$\omega\Delta p\cdot dt=\rho V_0 dx\cdot\omega$$

式中 ω——水管横断面積；

V_0——起始流速（当$t=0$时）；

V_T——終了流速（当$t=T$时）；

ρ——流体密度；

Δp——水錘的压力降低。

圖8 当導叶突然关閉时，尾水管中的直接水錘的傳播圖

由于$\frac{dx}{dt}=c$——即水錘压力波的傳播速度，則

$\Delta p=\rho cV_0$ ……………儒可夫斯基公式(9)

Δp是任一水管断面（x）上的压力，与管子的長度無关。

（Б）間接水錘

关閉水管的時間：

$$T>\frac{2l}{c}\quad 且\ V_T=0$$



圖9 当導叶緩慢关閉时，尾水管中的間接水錘的傳播圖

在这种情况下，在任意取的水管断面（x）中發生最大压力降低（圖9）的時間为：

$$t=\frac{2(l-x)}{c}$$

这时水管中的流速还沒有等于零。

压力降低等于：

$$\Delta p_x=\rho\cdot c(V_0-V_t)$$

式中 $V_t=f(t)$——t时的速度。

为了确定这一速度，应当知道水輪机導叶按时間的关閉規律。这个問題的最簡單的解答是借下述假定獲得的，即相等时段內水管中流速的变化相等。根据阿利也維的精确研究指出，在这假定下算出的水錘略大于实际的水錘，亦即根据这一假定所進行的計算是略偏于安全的。

如假定流速随时間是直綫变化，即得：

$$V=V_0\left(1-\frac{t}{T}\right)$$

由此

$$V_t=V_0\left[1-\frac{2(l-x)}{c\cdot T}\right]$$

和

$$\Delta p_x=\rho\cdot c\left(V_0-V_0+\frac{2(l-x)V_0}{c\cdot T}\right)=\frac{2\rho(l-x)V_0}{T}$$

或是

$$\frac{\Delta p_x}{\gamma}=\Delta H_x=\frac{2(l-x)V_0}{gT} \quad \cdots\cdots(10)$$

因此在这种情况下，水錘的压力降低沿着管長而变化，当 $x=0$ 时其数值为最大：

$$\Delta H_{\text{макс}}=\frac{2lV_0}{gT} \quad \cdots\cdots \text{米苏公式}(11)$$

公式（10）表明，当產生間接水錘时，在水管断面（χ）上所產生的現象就好像圖 9 上陰影綫所示的流体部分斷开一样。

在一般情况下，按照馬尔克基（Маркетти）的意見，当滿足下列条件时米苏公式是可以采用的：

$$\Delta H_{\text{макс}}\leqslant 2.2H$$

很明顯，对于尾水管，应將吸出高度（$H_{\text{вс}}$）代入馬尔克基方程式的右边。

2. 圓錐形擴散水管

这个情形，僅研究間接水錘。关閉水管的时間为：

$$T>\frac{2l}{c} \quad \text{且}\ V_T=0$$

根据米苏公式，在水管首端（圖 10 中断面 1）的最大压力降低等于：

$$\Delta H_1=\frac{2}{gT}\int_0^l V_x\cdot dx \quad \cdots\cdots(12)$$

式中 $V_x=V_1\dfrac{\omega_1}{\omega_x}=V_1\left(\dfrac{D_1}{D_x}\right)^2$。

对于具有固定圓錐角的水管：

$$D_x=D_1+(D_2-D_1)\frac{x}{l}$$

和

$$D_x^2=D_1^2+2D_1(D_2-D_1)\frac{x}{l}+(D_2-D_1)^2\left(\frac{x}{l}\right)^2$$

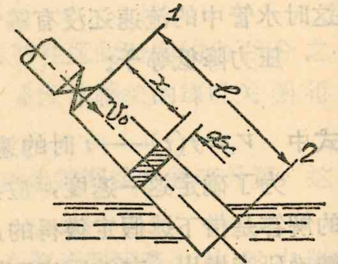


圖10 圓錐形水管中的間接水錘的傳播圖

將 D_x^2 代入 V_x 式，然后再將 V_x 代入公式（12）內即得：

$$\Delta H_1=\frac{2V_1D_1^2}{gT}\int_0^l\frac{dx}{D_1^2+2D_1(D_2-D_1)\frac{x}{l}+(D_2-D_1)^2\left(\frac{x}{l}\right)^2}$$

上式右端的積分可寫成如下的形式：

$$\int\frac{dx}{a+2bx+cx^2}$$

式中 $a=D_1^2$；$b=D_1(D_2-D_1)\dfrac{1}{l}$；$c=\left(\dfrac{D_2-D_1}{l}\right)^2$。

此时 $ac=\left(\dfrac{D_1(D_2-D_1)}{l}\right)^2=b^2$。

因此

$$\int\frac{dx}{a+2bx+cx^2}=-\frac{1}{b+cx}+C=-\frac{1}{\frac{D_1(D_2-D_1)}{l}+\frac{(D_2-D_1)^2}{l^2}x}+C=$$

$$=-\frac{l}{D_1(D_2-D_1)+(D_2-D_1)^2\frac{x}{l}}+C$$

因此，由 0 積分至 l，即求得擴散的圓錐形尾水管首端处的最大压力降低如下：

$$\Delta H_1=\frac{2lV_1D_1^2}{gT}\left[\frac{-1}{D_1(D_2-D_1)+(D_2-D_1)^2\frac{x}{l}}\right]_0^l=\frac{2lV_1D_1^2}{gT}\left(\frac{-1}{D_1(D_2-D_1)+(D_2-D_1)^2}+\right.$$

$$\left.+\frac{1}{D_1(D_2-D_1)}\right)=\frac{2lV_1D_1^2}{gT}\cdot\frac{D_1(D_2-D_1)+(D_2-D_1)^2-D_1(D_2-D_1)}{D_1(D_2-D_1)[D_1(D_2-D_1)+(D_2-D_1)^2]}$$

$$=\frac{2V_1D_1}{gT}\cdot\frac{D_2-D_1}{D_1(D_2-D_1)+(D_2-D_1)^2}=\frac{2lV_1D_1}{gT}\cdot\frac{1}{D_1+D_2-D_1}$$

由此

$$\Delta H_1=\frac{2lV_1}{gT}\times\frac{D_1}{D_2} \quad \cdots\cdots(13)$$

或

$$\Delta H_1=\frac{2lV_1}{gT}\sqrt{\frac{\omega_1}{\omega_2}} \quad \cdots\cdots \text{夏伯夫公式}(14)$$

式中 $\omega=\dfrac{\pi}{4}D^2$。

当 $D_2=D_1$ 时，公式(13)和(14)即变为米苏公式(11)

3. 由圓錐形和圓柱形管段組成的尾水管

当水輪机在 T 时間內（T 应大于 $\dfrac{2l}{c}$）全部关閉的情况下，在尾水管断面（1）处的最大压力降低（見圖 11）等于：

$$\Delta H_1=\frac{2}{gT}\int_0^l V_x\cdot dx$$

水管全長 $l=\sum_1^n l_i$。

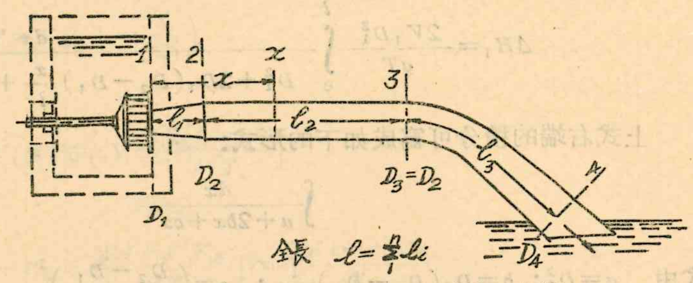


圖11 由圓筒形錐形和圓管段組成的尾水管。

將总積分寫成各管段的部分積分之和即:

$$\Delta H_1=\frac{2}{gT}\sum_1^n\left(\int_0^{l_i} V_x dx\right)\cdots\cdots(15)$$

按照公式(13)，部分積分的普遍式為:

$$\int_0^{l_i} V_x dx=l_i V_i\frac{D_i}{D_{i+1}}$$

式中 $V_i=V_1\left(\frac{D_1}{D_i}\right)^2$，

經代入以后即得:

$$\int_0^{l_i} V_x dx=l_i V_1\frac{D_1^2}{D_i\cdot D_{i+1}}\cdots\cdots(16)$$

將普遍式(16)的部分積分值代入(15)以后，即得断面变化的加長的尾水管的水錘計算普遍公式:

$$\Delta H_{\text{макс}}=\frac{2V_1}{gT}\sum_1^n\left(l_i\frac{D_1^2}{D_i\times D_{i+1}}\right)\cdots\cdots(17)$$

在个别情况下，對于最典型的加長的尾水管（見圖11）这一公式具有下列形式:

$$\Delta H_{\text{макс}}=\frac{2V_1}{gT}\left(l_1\frac{D_1}{D_2}+l_2\frac{D_1^2}{D_2^2}+l_3\frac{D_1^2}{D_2\cdot D_4}\right)\cdots\cdots(18)$$

公式（17）和（18）的括号中的数值，是尾水管將直徑化算为 D_1 后的全長。

按照上面馬尔克基的条件，（18）和（17）式適用于下述数值范圍内

$$\Delta H_{\text{макс}}<2.2H_{\text{вс}}\cdots\cdots(19)$$

因此，公式（17）和（19）以及公式（18）是近似計算加長的尾水管的水錘的基本公式。

此外，还应当按一般的水力阻力公式校核尾水管內的水头損失，而吸出高度則应根据空蝕來校核。當校核空蝕时，建議不計入尾水管內的水头損失(此系偏向安全)，而橫軸水輪机的尾水管的吸出高度，則应自水輪机的出口的頂点算起。

（唐仲南譯，王顯煥校）

三、小型水电站的机械和电气設計的参考資料

水利部北京勘測設計院水电組

1. 机械設計資料

在小型水电站的設計中，机械方面的主要問題是水輪机的选擇；因此，本文主要介紹有关这一方面的資料。

(一)出力小于150馬力的小型水輪机

目前为了節省小型水电站的投資和便于各地就地制造水輪机，选擇小型水輪机的原則应是：①構造簡單，能就地制造；②价錢便宜；③轉速高，減少傳动設备。

各种水輪机比較適宜的使用范圍大致是这样：上冲式木制水輪机適用于3公尺至6公尺的水头，水头太大，則水輪轉子的直徑也很大，重量也大，这样就太笨重，运轉不方便；开敞式木制旋槳式水輪机適用于小于6公尺的水头；雨击式水輪机適用于大于8公尺的水头。水头在6公尺与8公尺之間时，按流量大小來选擇：流量小于1秒公方者，采用雨击式水輪机，流量大于1秒公方者，采用木制旋槳式水輪机。以上几种水輪机的構造都比較簡單，可以就地制造，价錢也便宜，適宜于目前小型水电建設的条件。

將來的小型水电站，要考慮效率較高而水輪机可以成套制造，它比較適宜的条件是：水头从1.5公尺到6公尺的，采用开敞式木制旋槳式水輪机；水头从6公尺到16公尺的，采用袖珍式成套水电机組（鉄制旋槳式）；水头在16公尺到60公尺的，采用雨击式水輪机。

一、各种水輪机的技術数据介紹

（甲）上冲式木制水輪机

上冲式水輪机的直徑較利用水头約小0.8至1.2公尺左右，水輪的切綫速度一般用1.5至2.0秒公尺，轉数按下式計算:

$$n=\frac{60u_1}{D\pi}，式中\quad u_1=1.5\sim2.0秒公尺$$

一般的轉速都很慢。由于笨重和轉速慢，不如选用兩击式水輪机較为合適。

（乙）开敞式木制旋槳式水輪机

（根据 Д.Я.Сокоров 著“小型水电站的水輪机”一書，可参看本書“木制旋槳式水輪机及其应用”一文）。轉子有9种尺寸，轉子直徑从0.3公尺至1.2公尺，它們可適应：水头自1.5公尺至6.0公尺；流量自113秒公升至4,380秒公升；它們的出力自1.7馬力至155馬力。

如果設計时，实际水头和流量的配合不同于9种标准尺寸的，可根据标准尺寸水輪机轉子的 Q_1、n_1 和 N_1 用下列各相似公式計算所需要的 Q、n 和 N。即已知 D_1、H_1、n_1、Q_1、N_1 和实际水头 H_2，求当实际水头 H_2 和 D_1 时的 Q_2、n_2 和 N_2，公式如下：

$$\frac{n_1}{n_2}=\frac{Q_1}{Q_2}=\frac{\sqrt{H_1}}{\sqrt{H_2}}\,; \qquad \frac{N_1}{N_2}=\frac{H_1\sqrt{H_1}}{H_2\sqrt{H_2}}$$

（丙）袖珍式水电机組

匈牙利專家賀尔莫世同志曾在某次談話中建議我們制造三种成套的袖珍式小型水电机組，我們拟建議水輪机制造厂試制，这三种机組的规格如下表所列。

水　头（公尺）	最大出力（馬力）	蝸管進口直徑（公厘）	導水管直徑（公厘）
6～16	20	400	500
6～16	50	600	750
6～16	100	900	1,000

成套水电机組的構件包括：蝸壳、水輪机、發电机和配电盤；这种机組安放在戶外和戶內均可。20馬力的一种，匈牙利已大量制造，需要时可向匈牙利訂貨。

（丁）兩击式水輪机

关于这一种水輪机，匈牙利有詳細資料，这里只介紹一个大概情况。

匈牙利的兩击式水輪机有 A、B、C、D 四种型式，每种标准类型的轉子直徑 D 是固定的，每种型式又分5～9种轉子寬度。为適应較大水量，又把它分成單轉子和双轉子兩大类。各种类型的主要尺寸如下表：

型　号	水头（公尺）	流量（秒公升）	出力（馬力）	轉子直徑 D（公厘）	D/d *
A	2.6～60	19～74	1.26～37	220	6
2A	2.6～60	26～154	1.28～75	220	6
B	1.4～30	45～280	1.1～75	450	6
2B	1.4～30	79～560	1.5～148	450	6
C	1.4～10	91～528	2.75～51.2	620	4.5
2C	1.4～10	133～1,024	2.53～102.5	620	4.5
D	1.4～5	143～538	2.93～26	800	4.5
2D	1.4～5	211～1,076	3.55～52	800	4.5

* 为噴嘴喉头高度。

这一种型式的水輪机中，C、D、2C 和 2D 四类的主軸不通过水輪机轉子中心，而 A、B、2A 和 2B 四类的主軸則通过轉子中心。主軸不通过轉子，是为了避免水流冲击主軸，因而減低效率。

选用这一种水輪机时，先按实际的水头(H_p)和流量（Q_p）查出轉子直徑后（即选定型式），按下列公式計算轉子的寬度 B_p：

$$B_p=Q_p/0.445D\sqrt{H_p} \quad (用于 A,C 类型);$$

$$B_p=Q_p/0.425D\sqrt{H_p} \quad (用于 B,D 类型)。$$

式中

H_p、B_p 和 D 的單位是以公尺計；

Q_p 以秒公方計。

如果选用标准类型則可以 B_p 对照标准尺寸，选一个 B 与 B_p 相近的水輪机，然后返回計算：

$$Q_p=0.445D\sqrt{H_p}\cdot B \quad (用于 A,C 类型);$$

$$Q_p=0.425D\sqrt{H_p}\cdot B \quad (用于 B,D 类型)。$$

$$n=42\sqrt{H_p}/D \quad 轉/分;$$

$$N=10Q_pH_p \quad 馬力。$$

二、各种水輪机的制造、安裝和性能的說明

（甲）木制旋槳式水輪机

導水裝置：鉄制旋槳式水輪机都采用迴轉式活动導水叶，木制旋槳式水輪机的木制導水叶如果也制成活动的，則構造复雜，制造困难，又不灵活。因此，建議采用迴轉式固定導水叶，而用圓筒式閘門控制流量，調整水輪机的轉速。在設計中采用圓筒閘門时，应將導水叶的外徑（D_A）縮小，根据試驗成果 $D_A/D=1.39$ 为最好（D 为轉子直徑）。〔参看 Квятковский 著“小型水輪机”第170頁及 Котенев 著，趙大金譯的“小型水輪机轉速与出力調整”第30頁〕。

厂房布置：厂房所需面積由水輪机室和傳动設备所需尺寸确定。水輪机室尺寸的确定可参照 Соколов 所著“小型水电站的水輪机”一書第145～164頁所建議的数据和計算公式（該文已譯出，見本書“木制旋槳式水輪机及其应用”一文）。

木制旋槳式水輪机的轉速都較低，需利用傳动設备改变轉速，方能与發电机連接。变速傳动設备可用皮帶或齒輪。关于皮帶輪裝置的規定，可参照“農村水电站”139～142頁及“小型水电站的水輪机”160頁。

采用木制旋槳式水輪机的水电站厂房的高度，由以下几部分來确定：

①水輪机的安裝高程必須保証最低上游水位高于導水叶頂以上0.5公尺，以避免空气隨水流卷入水輪机。可用下列公式計算：

$$h_0 \geq B_1+\Delta H+0.70 (單位为公尺)（見 Соколов 書146頁，本書43頁）$$

式中　h_0——上游正常水位与水輪机室底的高差；

B_1——水輪机導水叶的高度；

ΔH——上游正常水位与最低水位差。

②尾水管下緣必須沒入下游最低水位 0.3 公尺，以避免空气進入尾水管影响水流。

③尾水管下緣高出尾水渠底 1～1.5 倍水輪机轉子直徑 D 的尺寸，使尾水流动暢順。

木水輪机，如果維护得好，寿命可达 8～10 年。

（乙）袖珍式成套水电机組

水輪机为旋槳式，出力为 20 馬力的，直徑为 250 公厘，轉速为 1,500 轉/分鐘。轉子的輪叶数目：低水头（6 公尺左右的）为 4 片；高水头(16公尺左右的)为 6 片。利用上下移动的圓筒式閘門調速。發电机为直立式，与水輪机直接联动，它的电压为 400/230 伏。

目前我國尙無產品，需向匈牙利訂貨。訂貨后一年交貨。全套設备，包括配电板在內，总价为 12,500 盧布。

（丙）兩击式水輪机

水輪机的制造可采用兩种方法：一种是全部用鑄鋼澆鑄而成，一种是用鋼板焊接而成。制造方式的选定，視水輪机尺寸大小和当地制造条件而定。一般情况，当水头小于 20 公尺时可用鋼板焊接；当水头大于 20 公尺时可澆制。它的輪叶都可用各种直徑和厚度適宜（大約 3 至 5 公厘）的鋼管劈开成 4 片或 6 片做成。

調速方式，一般都采用手調速。其方式可采用轉动噴嘴下的活瓣或移动噴嘴內的插板兩种。

兩击式水輪机的安裝高程：水輪机下緣必須高出平常尾水位 20 至 40 公分，以避免水流影响水輪机的轉动。如果在汛期洪水要淹沒水輪机，則水輪机的軸承必須考慮防水，傳动設备和發电机則必須与水輪机隔开；这样当尾水淹沒水輪机时，仍可以运轉，而效率則稍減。

兩击式水輪机的效率（η），几乎不随負荷大小而变化，負荷超过水輪机全出力的 50% 时，效率可大致保持 80% 左右。

水輪机的价格，約估为 4,000 元，在設計中可按重量大小和加工費多少計算。

（二）出力大于 150 馬力的水輪机

出力大于 150 馬力的水輪机，目前还沒有構造比較簡單和制造方便的型式，所以必須向水輪机制造厂訂貨。訂貨手續可向第一机械工業部第四机器工業管理局詢問。訂貨后約四个至八个月交貨，產品尙未标准化，需个別設計。

下面表格中所列的数据，是解放以后所制造的一些小型水輪机的規格。如果設計中水头流量与表中所列数字相近的，可以选用表中所列的型号和尺寸，这样可節省水輪机設計和制造的人力和时間（表中所列价格都系制造时的价格，只作参考之用）。

編号	出力(馬力)	水量(秒公方)	水头(公尺)	轉速(轉/分)	約估价格(元)	型式
PR—101	430	0.5	83	600		
FT—101	1,400	3.0	43	600	30,000	法蘭西斯
FT—103	220	1.8	12	600		法蘭西斯
FT—104	50	0.33	15	1,000	6,000	法蘭西斯
FT—105	110	0.65	17	1,000	18,000	法蘭西斯
FT—106	251	0.4	57	600	18,000	法蘭西斯
FT—107	550	1.5	34	375	50,000	法蘭西斯
KT—101	100	1	9.5	800	8,000	卡普蘭
KT—102	450	12	3.7	187.5	57,000	卡普蘭
PT—101	134	2.2	5.4	500	18,000	旋槳式
FT—108	175	0.8	20	500	15,000	法蘭西斯
PR—104	45	0.1	45	500		冲擊式
PR—103	600	0.28	200	1,000	13,000	冲擊式(双噴嘴)
PT—102	150	1.0	15	1,000		旋槳式

2. 电气設計資料

一、用电量估算

根据我們在个别地区調查的資料：

①農村照明用电——每戶（4～5 人的）20～30 瓦。用电戶占住戶的比率，視住戶的密集程度、生活水平与电厂經营管理情况而定。

②小城市照明用电——住戶与小商店每戶 35～40 瓦，用戶可达住戶的100%。大商店与机关团体学校等，按房間大小与房間多少而定。

③碾米机：

每台机生產率（市斤/小时）	动力（馬力）
500	10
2,000	15

④脫谷机：每 8 小时脫谷 35,000～40,000 市斤的，需用动力 3～4 馬力。

⑤磨面：磨面机（天津造）——每台生產 0.4 噸/小时，需用动力 12 馬力。

面粉厂——半人工、二班制、每天生產 220 袋(每袋 50 市斤)，需 12～15 馬力。自动化、三班制、每月生產 100,000 袋，需 300 馬力（其中包括磨面机 12 台合 150 馬力，篩面 75 馬力，洗麥 61 馬力，包裝 8 馬力，水泵 6 馬力）。折合每袋用电 1.4 度。

⑥榨油：三班制、每天榨原料 10 噸的，需用 15 馬力；每天榨原料 600 公斤的，需用 5 馬力。

⑦灌溉：可根据灌溉定額、抽水高程和抽水机效率計算。粗略計算，可按每瓩灌田 50 畝計。

关于苏联的用电定額，根据一些書本上和規程上的定額綜合介紹如下，供参考

用。有些数字与我國实际用电定額相近。

1.耕地——每公頃耗电量为 45 度。实用中采用 45α 度，$\alpha=2.5\sim4.0$ 之間。容量为 45 瓩的拖拉机，每年耕地約为 500 公頃。

2.脫粒——用电量 6～12 度/噸。

3.洗麦（揚麦）——0.2～0.4 度/噸。

4.磨粉：

生產率（公斤/小时）	机器容量（瓩）	用电率（度/噸）
200	8	40
350	9	27
500	13	26
650	15	23

5.小型榨油：

生產率（公斤/小时）	机器容量（馬力）	用电率（度/噸）
50	6	90
100	8	60
150	12	60
250	15	45
300	17	40

6.農村照明用电：

类别	安裝容量（瓩）	年利用小时數（小时）	同时率
住宅（100 戶）	3.5	1,200～1,500	0.8～0.9
公共建筑	1.0～1.5	1,000	0.8
路灯（每公里）	0.8～1.5	2,000	1.0

7.居民生活用水 40～80 公升/天。每 1,000 个居民点所需用的电动抽水机的用电量为 1.0～2.5 瓩，年利用小时数为 4,000 小时。按此計算，每人每年分攤生活用水的用电量为 4～10 度。

二、發电机的規格尺寸

可从第一机械工業部的 1955 年產品样本上查得，亦可参看 Гвоздев 等所著的"農村水电站設备"一書第 110 頁 61 圖及 112 頁第 60 表。

三、輸电綫設計

①电压选擇：一般可按下表确定。

电压（伏）	輸电距离（公里）	材料	最大容量（瓩）
380/220	1.0～1.5	銅鉸綫	20～30
6,000	3～8	鉄導綫(4～5公厘)	30～50
	3～12	銅導綫	
10,000	15～18	銅導綫	100以上

②導綫計算：一般以电压总降落不超过 10% 为控制条件。为了節約用銅，应尽量使用鉄綫（詳見"農村水电站" 265 頁）。

定綫号——根据輸电容量 P（瓩）和輸电距离 L（公里）选定电压；根据 P、L 与电压，可查"農村水电站" 288～295 的諾模圖來決定綫号。

例如：$P=350$ 瓩；$L=6$ 公里，选定电压为 6,000 伏，材料为銅綫。

查 187 圖知：

若用 M—16 号綫(裸銅綫, $A=16$ 平方公厘)，則每公里电压降落为 $e(\%)=1.37$。

$$\frac{10}{1.37}=7.3\text{ 公里}>6\text{ 公里} \qquad \text{（合格）}$$

〔注意：銅綫 $A<10$ 平方公厘和鋁綫 $A<16$ 平方公厘的不許作高压綫。〕

導綫重量，可查"農村水电站" 265～271 頁表。

例：查 265 頁 87 表，M—16 号綫每 1,000 公尺重 145 公斤。6 公里輸电綫的長度为 $3\times6\times1,000=18,000$ 公尺，共需導綫重 $\frac{18,000}{4,000}\times145=2,610$ 公斤。

導綫的价格——鉄導綫每噸 1,000 元；銅導綫每噸約 6,000～7,800 元；鋁導綫每噸約 4,300～5,900 元。導綫愈細愈貴。

③电綫杆：电杆档距一般可用 50 公尺。低压綫杆長 7～8.5 公尺；高压直綫杆杆長 8～9 公尺，不够長时可接腿。綫杆埋入地下的深度与土質有关，一般为杆長的六分之一即 1.3～1.5 公尺。綫杆梢徑一般規定为 16 公分，但 10～13 公分的亦可使用。

④"二綫——地"制輸电綫："二綫——地"制輸电綫利用大地作为一根導綫，只用于升压变压器与降压变压器之間。在三相輸电时，只需架二根綫；在單相輸电时，只需架一根綫。大約可節省 30% 的導綫、磁瓶、鉄脚等的投資，且可將电綫杆档距加大，減少綫杆木材。采用"二綫——地"制輸电时，需特別注意導綫接地問題。

由于本資料的編寫是为了应各地急需，再加上我們又缺乏机械和电气方面的知識、經驗，因此在資料內容上是零星的，不全面的，也可能有錯誤。希望同志們加以补充和指正。

四、兩击式水輪机的設計和应用

水利部北京勘測設計院水电組

一、兩击式水輪机的适用范圍

兩击式水輪机的特性速 n_s=30～150。是介乎輻流式和冲击式水輪机之間而適用于小型水电站（出力小于130瓩）的一种水輪机。它可適用于水头6～60公尺；出力10～130瓩。在水头小于6公尺而出力很小时也可以采用。

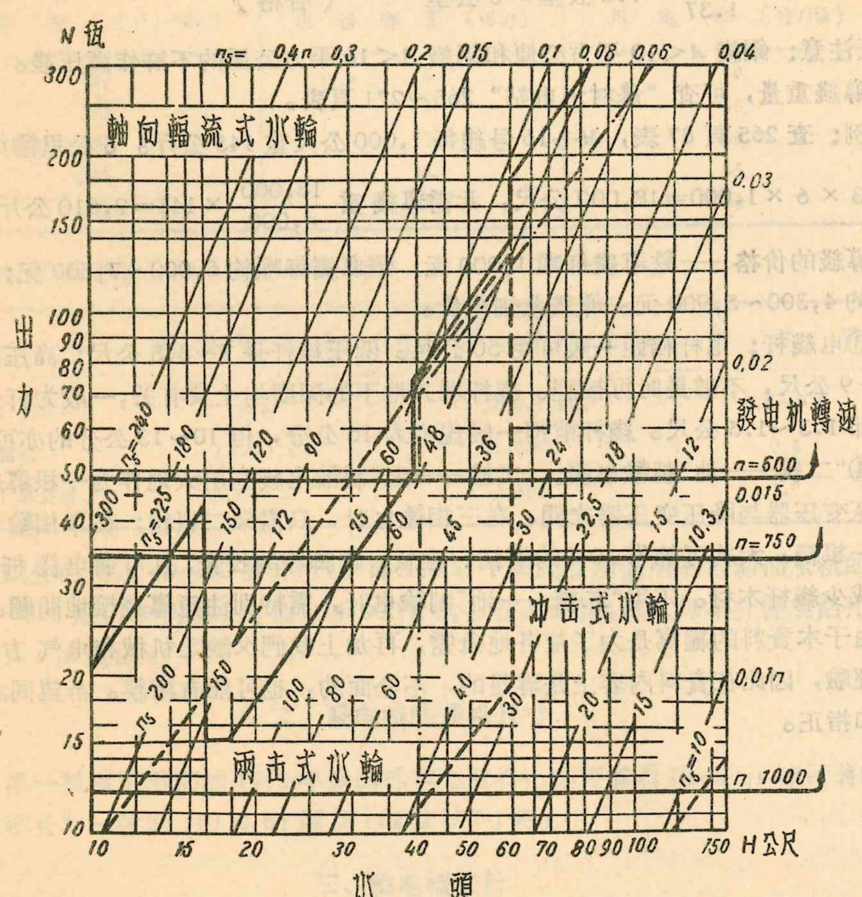


圖1 各种小型水輪机的適用范圍

——輻流式水輪机適用范圍； ----兩击式水輪机適用范圍； —·—冲击式水輪机適用范圍

由圖1中可見：兩击式水輪机的出力在14～34瓩之間的可与轉速为1,000轉/分的發电机直接联动；出力在34～48瓩之間的可与轉速为750轉/分的發电机直接联动；出力在48～130瓩之間的可与轉速为600轉/分的發电机直接联动。

二、兩击式水輪机的特性

兩击式水輪机与上击式水輪机外形相似但直徑小很多，它們的轉动原理則完全不同。兩击式水輪机是利用水的冲力來轉动，而上击式則是利用水的重力來轉动。由于兩击式水輪机是利用冲力，因此它的轉子直徑（与上击式比較）就可以做得很小。

兩击式水輪机的另一个特点是水冲進水輪机轉子以后被利用兩次才泄入尾水渠。第一次冲击轉子叶片时有全部能量的83%被利用，第二次冲击叶片时又被利用了其余的17%。

兩击式水輪机的效率和它的叶片数有关系。根据苏联工程师 Черкасов 研究的結果，叶片数与最优效率的关系如右表。

轉子叶片數	最优效率(%)
12	60
20	81
48	87

同时，轉子叶片数愈多，在負荷变化时，效率的变化愈小。通常采用的叶片数为24片。

兩击式水輪机的效率还和轉子叶片的形狀有关系。叶片形狀有二种：一种是圓弧

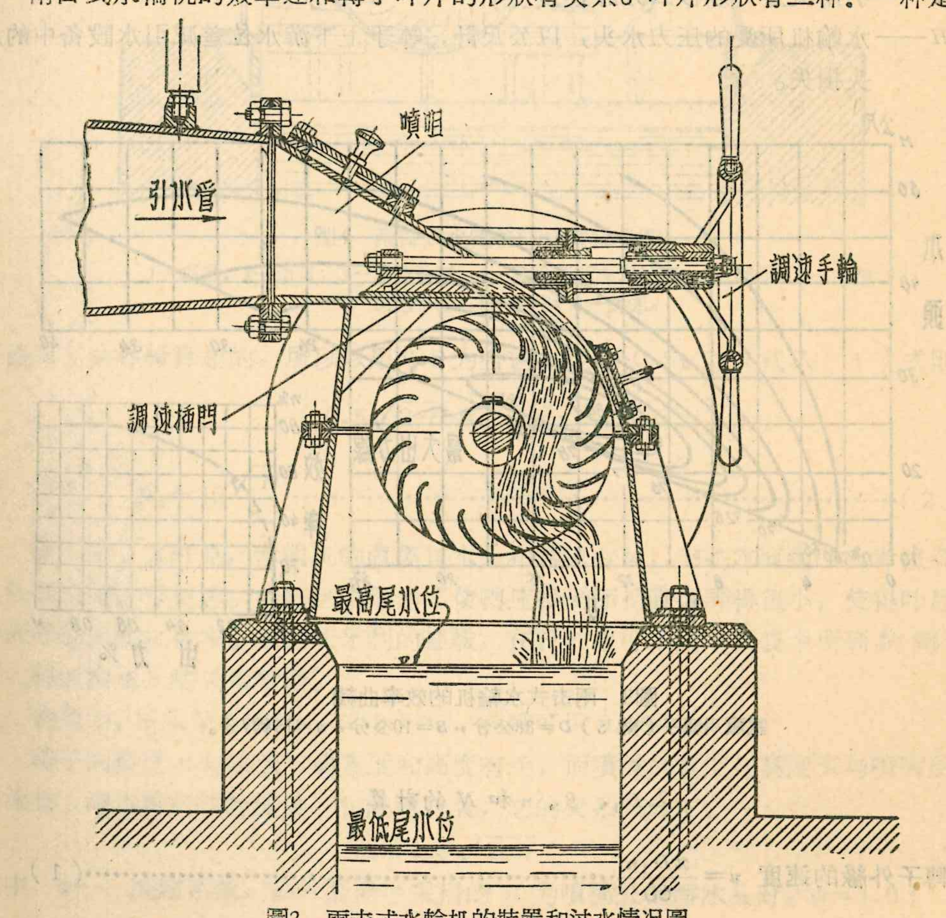


圖2 兩击式水輪机的裝置和过水情况圖

形；另一种是漸开綫形。漸开綫形叶片比圓弧形叶片的效率高5～6%。为簡化起見，全苏水利机械制造科学研究所（ВИГМ）建議采用二个不同圓弧接成的叶片形狀（見圖5）。

三、兩击式水輪机的設計

1.代号說明

D_1——轉子外徑，以公尺計，輪叶片的進口边緣全位于以D_1为直徑的圓周上；

D_2——轉子內徑，以公尺計，輪叶片的出口边緣全位于以D_2为直徑的圓周上；

B——轉子叶片的長度，以公尺計，即为叶片兩端支承盤的間距；

d——噴嘴高度，以公尺計，垂直于噴嘴軸綫的最小截面的高度，約为

$$(1/6\sim1/10)D_1;$$

b——噴嘴寬度，以公尺計，为$0.8B$；

n——水輪机轉速，以每分鐘轉数計；

u——叶片外緣的圓周切綫速度，以秒公尺計；

N——水輪机出力，以馬力計，等于$10QH$；

Q——引用流量，以秒公方計；

H——水輪机所受的压力水头，以公尺計，等于上下游水位差減引水設备中的水头損失。

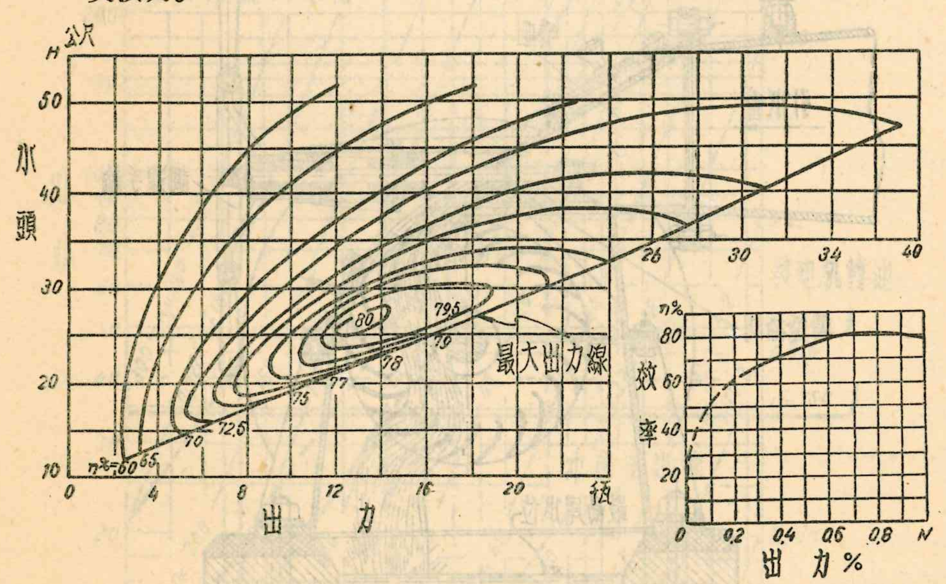


圖3 兩击式水輪机的效率曲綫

試驗用轉子（№ 5）$D=88$公分，$B=10$公分，$n=75$轉/分。

2.D_1、B、n和N的計算

轉子外緣的速度 $u=\frac{\pi D_1 n}{60}$ ……………………………………（1）

这一种冲击式水輪机的u值采用$0.5\sqrt{2gH}$为适当。丕尔頓式（冲击式）水輪机的u值采用$0.45\sqrt{2gH}$，是因为它的直徑是从勺子中心算起的，而兩击式水輪机的轉

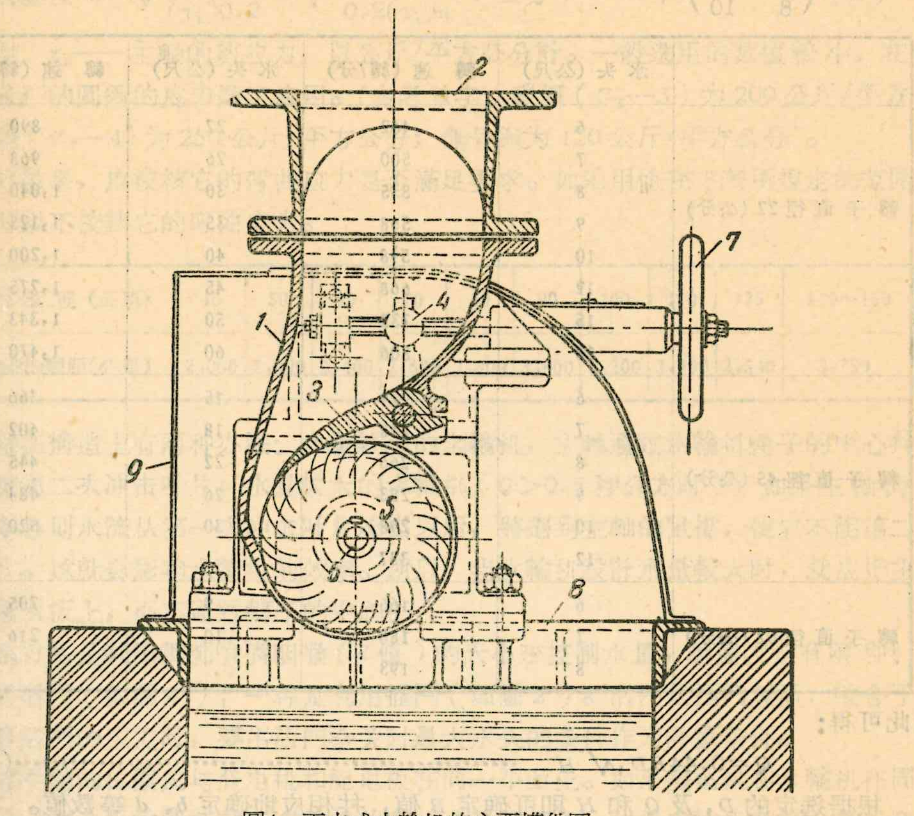


圖4 兩击式水輪机的主要構件圖

1—噴嘴；2—進口；3—調節舌瓣；4—調節用球形联接器；5—轉子；6—主軸；7—調速手輪；8—基座；9—外壳。

子直徑是从外緣算起的，所以用0.5为合適。以$u=0.5\sqrt{2gH}$代入（1）式則为：

$$0.5\sqrt{2gH}=\frac{\pi D_1 n}{60}$$

$$D_1=42\frac{\sqrt{H}}{n} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

由（2）式可見，水輪机的直徑与水头和轉速有关，在选定直徑时应考慮到与發电机联动的合理轉速。当然也不能为了使轉速很高而把直徑弄得很小，使得叶片数減少而降低水輪机效率。根据匈牙利的經驗，在設計中可采用下頁表中所列的轉子直徑、轉速和水头的关系数据。

內徑D_2可采用$(0.63\sim0.68)D_1$，一般可用$0.65D_1$。

轉子的長度B与噴嘴口的寬度和高度有关，而噴嘴的寬度与高度又与噴嘴所噴出的流量（即水輪机設計流量）和流速有关，它的关系式如下：

$$Q=bd\varphi\sqrt{2gH}$$

式中 φ——流速系数，如果計算中采用的H为噴嘴处的淨水头时，$\varphi=1.0$；

$b=0.8B$；

$d=\left(\frac{1}{8}\sim\frac{1}{10}\right)D_1$ 。

	水头(公尺)	轉 速(轉/分)	水头(公尺)	轉 速(轉/分)
轉子直徑22(公分)	6	462	22	890
	7	500	26	968
	8	535	30	1,040
	9	568	35	1,125
	10	598	40	1,200
	12	668	45	1,275
	15	735	50	1,343
	18	806	60	1,470
轉子直徑45(公分)	6	229	15	366
	7	248	18	402
	8	266	22	445
	9	283	26	484
	10	298	30	520
	12	327		
轉子直徑62(公分)	6	166	9	205
	7	180	10	216
	8	193		

由此可得：

$$Q=0.44BD_1\sqrt{H} \quad \cdots\cdots(3)$$

根据选定的 D_1 及 Q 和 H 即可确定 B 值，并相应地确定 b、d 等数值。

水輪机的出力可按下式計算：

$$N=\frac{rQH\eta}{75}=\frac{1{,}000\times0.44BD_1\sqrt{H}H\eta}{75}$$

$$\left.\begin{aligned}&=5.87BD_1H\sqrt{H}\,\eta \quad (\text{馬力})\\&=4.32BD_1H\sqrt{H}\,\eta \quad (\text{瓩})\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(4)$$

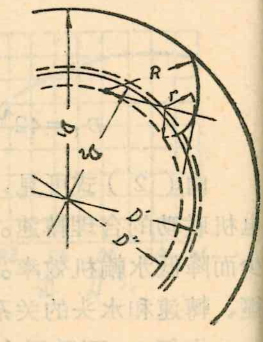


圖5 叶片形狀圖

3.叶片、主軸、調速器和噴嘴設計

叶片的形狀采用圓弧形的，圓弧半徑可定为$\rho=0.163D_1$。如果采用兩个不同半徑的圓弧相接的叶片形狀，則取用：$D'=0.684D_1$；$D''=0.586D_1$；$R=0.236D_1$；$r=0.078D_1$。由于这些数字的确定，輪叶的位置和水進入輪叶的角度也可以确定了。叶片厚度与水量大小和 B 的長短有关，一般可取用3～6公厘厚的鋼板做成而不做应力計算。

主軸直徑可按下式計算

軸所受的轉矩$M=\frac{75\times60N}{2\pi n}=716.2\frac{N}{n}$（公斤—公尺）$\cdots\cdots(5)$

式中 N——水輪机轉子的軸出力，以馬力計；

n——轉子的轉速，以每分鐘轉数計。

軸的直徑 $d=\sqrt[3]{\frac{M}{(\tau_k)0.2}}=\sqrt[3]{\frac{71{,}620N}{0.2(\tau_k)n}}$（公分）$\cdots\cdots(6)$

式中 τ_k——主軸的剪应力，以公斤/平方公分計。一般选用的数值較小，在实用中按各厂的圓鋼的应力数字应用。〔参考数字：碳鋼（C_T—3）为200公斤/平方公分；碳鋼（C_T—4）为250公斤/平方公分；無号鋼为120公斤/平方公分〕。

計算結果，应校核它的弯曲应力是否滿足要求。如采用值在下表所規定的范圍以內，則可以不校核它的弯曲应力。

主軸直徑(公厘)	40	50	60	70	80	90	100	110	125	140～160
兩軸承的間距(公厘)	2,000	2,200	2,400	2,600	2,800	3,000	3,200	3,300	3,540	3,750

主軸在構造上有兩种办法：水量較小的水輪机，主軸通过水輪机轉子的中心幷不影响水流第二次冲击叶片；水量較大的水輪机（$Q>0.5$秒公方时），如果主軸仍通过轉子中心則水流从第一次冲击叶片流出以后，將遇到主軸的阻擋，使它不能第二次冲击叶片。这就会影响水輪机的效率。所以，当水輪机設計水量較大时，就应把主軸固定在擋水板上，而不通过轉子的中心。

調速方法是利用調節噴嘴咽喉（d值）的大小來控制水量。調速設备有兩种：一种是利用活門（如圖4）；一种是利用插門（如圖2）。活門比插門灵活，較合于使用。計算活門的应力时，要用活門全关时最大水头的条件作为計算条件。

調速手輪的位置应与發电机和配电板在同一平面上。如果發电机和水輪机在同一層建筑內，調速手輪就裝設在水輪机的旁边（見圖6）。如果水輪机在第一層，發电机在第二層，就要在調速器上裝一根長連杆，把手輪放到發电机層去。這样作的主要原因是，运轉人員調速时必須看見配电板上的儀表，如看不見儀表就不好調速（見布置圖7）。

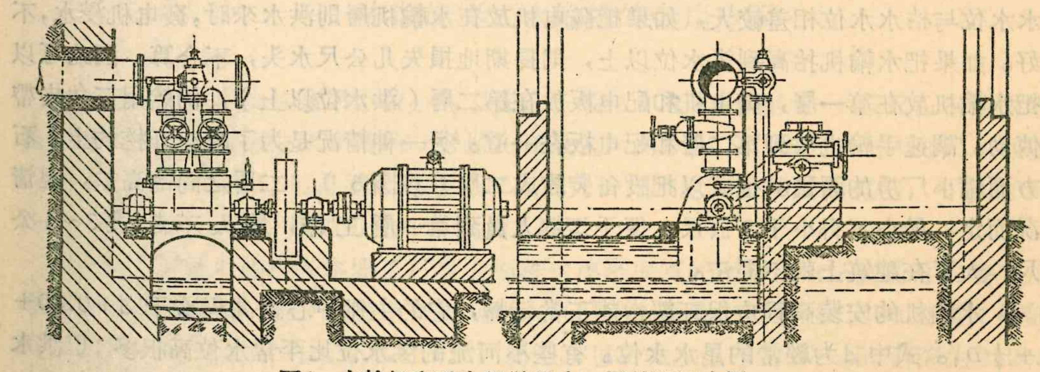


圖6 水輪机和發电机裝設在一層的厂房布置

噴嘴的形狀以采用圓滑的漸开綫形的效率較高，也可用圓弧連接直綫而成。噴嘴的位置有水平進水和垂直進水兩种（見圖2和圖4）。選擇何种進水方法主要視地形条件而定，在运用上沒有多少差別。

噴嘴外壳与轉子之間保持3～4公厘的間隙。这个間隙不能太大，太大了水要漏走，降低利用率。

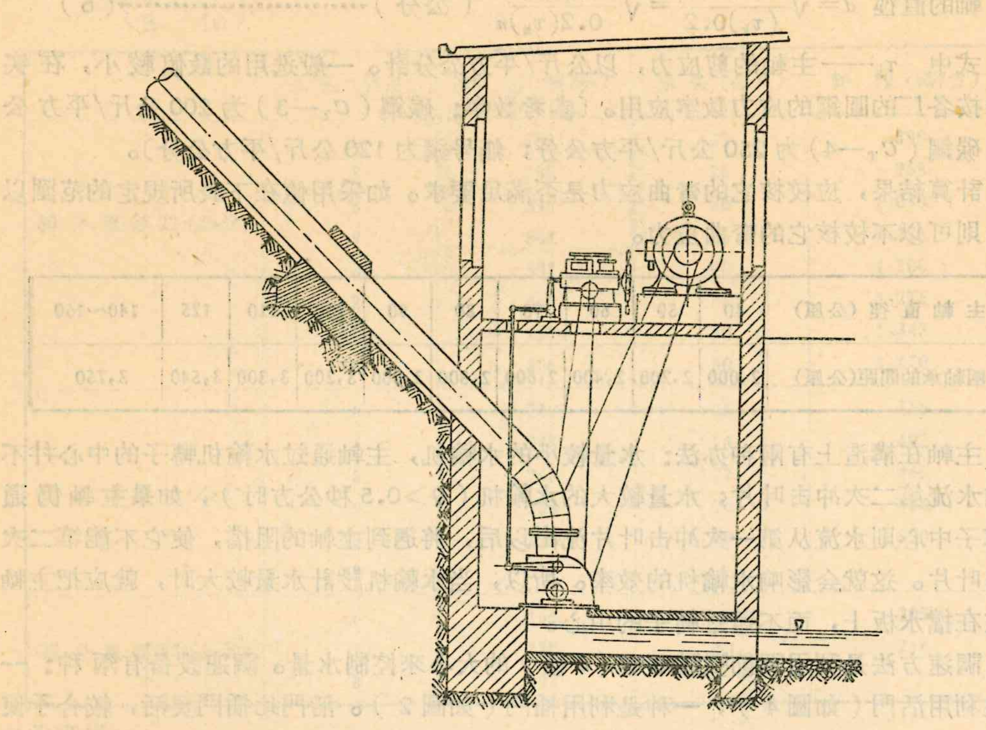


圖7 水輪机和發电机装設在二層內的厂房布置圖

四、采用兩击式水輪机的水电站厂房布置

厂房宜于采用一層，把發电机、配电板和水輪机放在一个平面上。水輪机和發电机如果不能直接联动，就用三角皮帶傳动。这样运轉很方便。但在有些小河流上，洪水水位与枯水水位相差較大，如果把發电机放在水輪机層則洪水來时，發电机浸水，不好。如果把水輪机抬高到洪水位以上，則長期地損失几公尺水头，不合算。因此可以把水輪机放在第一層，發电机和配电板放在第二層（洪水位以上），仍然用三角皮帶傳动。調速手輪也放到第二層和配电板在一道。另一种情况是为了減少开挖的土、石方而縮小厂房的面積。也可以把設备裝設成二層（見圖6），二層之間的高差，視情況而定。最小不得小于2公尺，便于运轉人員到第一層工作，最大不超过3～4公尺，大了在建筑上就不經济。

水輪机的安裝高程应保証經常能正常运轉，它的主軸中心綫高程等于$\Delta+0.40+\frac{1}{2}D_1$。式中$\Delta$为經常的尾水水位。有些小河流的洪水位比平常水位高很多，但洪水的时間很短，所以可不按洪水位計算水輪机的安裝高程。

采用兩击式水輪机的水电站厂房的平面布置和其他水輪机的沒有差别。平面布置主要是看傳动設备所需要的面積，在机器的四周最少要留0.8～1.0公尺的空間，以便运轉人員走动。

五、木制旋槳式水輪机及其应用

Д.Я.索科洛夫教授著

"因地制宜，就地取材"是修建農村水力發电站时应該特別注意遵循的原則。我國地区遼闊，有許多農村僻处山区或半山区，在那些地方木材是很方便的，因此，采用木制旋槳式水輪机不僅可以降低成本、節約鋼鉄，而且可以就地制造。在工業高度發达的苏联，依然很重視这种木制水輪机的采用和推廣。截至1948年，在苏联已經修建了400个左右使用木制水輪机的水力裝置了。根据他們的經驗，这种水輪机的木制动輪在养护適宜的情况下可以使用到8～10年，而水輪机的其它零件（如吸出管，水輪机頂蓋，導水裝置等），使用年限也不少于水力裝置的其它木制構件（如水輪机室，導水槽等）的使用年限。

本文系摘譯自Д.Я.Соколов教授著"小型水电站的水輪机"一書中的第八章，对木制旋槳式水輪机的適用范圍、部件構造和作用、設計和計算等都作了詳細説明。各地農村水电工作同志在参考、采用这种水輪机时，应根据当地具体条件选用適当的木料，最好多多征詢当地具有制造旧式水磨經驗的木工的意見，并組織他們学会制造。

——"苏联水利科学技術譯叢"編者

一、木制旋槳式水輪机的应用范圍

木制旋槳式水輪机適用于較小的水头，一般在1.2～2.0至5～6公尺。常用的木制水輪机的动輪直徑由300到800公厘，在最常用的水头下（即由2到4公尺）可發出10到50～60馬力，但是这个范圍还可以擴大。个別水輪机的动輪直徑，可以达到1,200到1,400公厘，出力可达150馬力。

例如，斯維尔德洛夫木器工厂曾为斯維尔德洛夫省的兩个水电站制造并安裝了几部这样大的水輪机：其中，属于普里斯坦水电站的有兩部，直徑为1,140公厘，每部功率为140馬力，工作水头为3.5公尺；属于布恩科夫水电站的有一部，直徑为1,245公厘，功率为68馬力，工作水头为2公尺。

使用木制水輪机的有以下几种类型：（1）供給小村庄照明及小动力負荷用电的水电站；（2）水磨房用它來替換旧式水車；（3）电力站——在这里水輪机除帶动發电机外，还帶动磨盤；（4）供水站。

二、木制旋槳式水輪机的部件及其功用

要想使水电站的效率很高，必須使它所有的部件都制造得完全符合于下列的要求，即須使所用的水流在流往动輪的途中，在动輪內部以及在从动輪流出和泄入尾水管时的能量損失达到最小值。因此，正确而仔細地來設計、制做和运用水輪机的所有部件，乃是保証水輪机順利工作的必要条件。

低水头的普通型式的水輪机是由以下几个主要部件組成的：

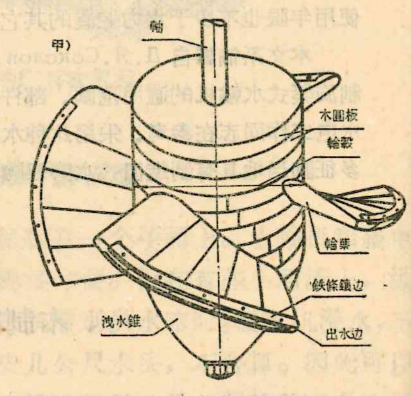
（а）**導水設备** 包括：（1）導水槽——它的用途是以最小的損失，將水引入水輪机室；（2）水輪机室——它的用途是用來在它的內部安裝導水裝置及水輪机动輪，并使流向導水裝置的水流產生正确的旋轉运动。

（б）**动輪** 它是水輪机的主要部分。它的作用是將導入动輪內的水流的能量轉变为轉动水輪机主軸的机械能，然后經由主軸与傳动設备來帶动其他的机器。

（в）**泄水設备** 包括尾水管（即吸出管）及泄水渠（即放水路），泄水渠的用途是为了容納自水輪机泄出的水，并將它泄往下游。

（г）**調速設备** 当負荷变化时，用它調節水輪机的出力，以保持轉速不变（或者把轉速变化限制在最小的容許范圍內）。

（д）**水輪机支承設备** 它的作用是为了承担水輪机工作时產生的力，这些力有：（1）作用在动輪上的水压力，及水輪的自重（垂直作用的）；（2）皮帶拉力及齒輪傳动的作用力（方向垂直于軸）；（3）由于偶然發生的或安裝不精确而引起的主軸的冲动力和振动力。



三、木制旋槳式水輪机各部件的構造

动輪 木質旋槳式水輪机的动輪具有以下几个部件（圖123甲、乙）：

（а）輪叶——它承受流經水輪的水流的压力；

（б）輪轂——动輪中心的圓柱体部分，主軸即固定在它的中心孔內；

（в）泄水錐——安裝在輪轂下面，用以使自輪叶流出的水能順暢地進入尾水管。

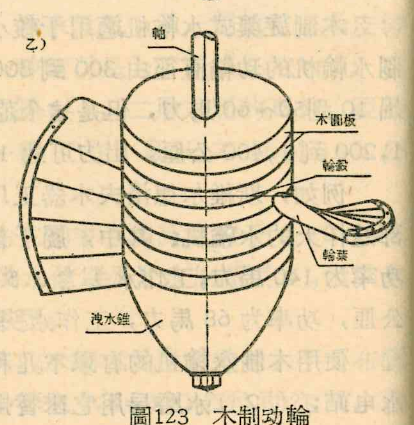


圖123 木制动輪
甲——四叶式动輪；乙——兩叶式动輪。

木制旋槳式水輪机动輪是用木板制成的，木板的長度与动輪的直徑相等，板厚3～5公分，輪叶面是按圖124甲切成的螺旋面，照样把各个輪叶制造出來。在由四个輪叶組成的动輪上，輪叶要兩兩成对地嵌接在一起，組成十字形狀(如圖124乙)。圖124丙表示的是兩叶式动輪的輪叶。

水輪机动輪的輪叶，是由数个十字形輪叶拼塊（用于四叶式水輪机）或中字形輪叶拼塊（用于兩叶式水輪机）重叠而成的。它們在重叠时彼此要錯开一定的角度，以使动輪輪叶叠合成連續的螺旋面（圖125及126）。

十字輪叶拼塊或中字輪叶拼塊的数目，視計算所得的动輪高度而定。

在拼合成的水輪机动輪的輪轂的上面和下面，分別加上一兩塊直徑等于輪轂的木圓板。輪叶与圓板用四根螺栓緊連在一起，螺栓头及螺帽与木圓板之間夾有厚約10～15公厘的金屬垫鉄（圖127），垫鉄上有穿主軸用的孔及鍵槽，以便用鍵將动輪与主軸固定在一起。

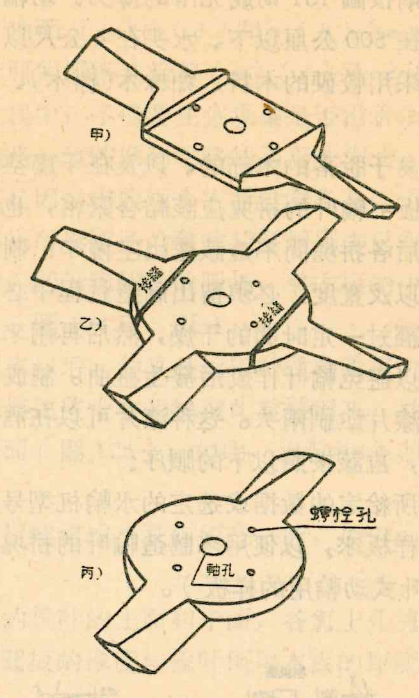


圖124 木制动輪的拼塊
甲——四叶式动輪的元件；乙——四叶式动輪元件拼成的十字拼塊；丙——兩叶式动輪的中字拼塊。

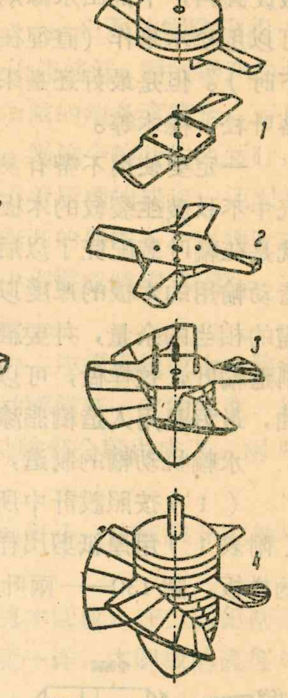


圖125 木制旋槳式水輪机动輪的裝配圖
1—輪叶元件；2—十字拼塊；3—动輪裝配圖；4—裝配完成的动輪。

金屬垫鉄应嵌入所裝的木圓板內，但为了容納突出在垫鉄上的螺栓头及螺帽，应在复盖在它們上面的木圓盤盖板上及連接在下面的泄水錐上刻出凹槽。为了增强动輪上輪叶的强度，在每个輪叶外緣（即出水边）的上下兩边，要分別釘上一条3公厘厚的鉄条（圖123），鉄条应当嵌在叶面里，使鉄条面与輪叶表面一般平。

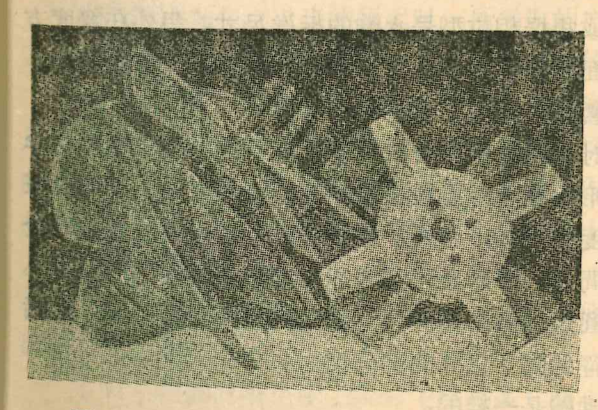


圖126 木制旋槳式水輪机动輪拆散的情形

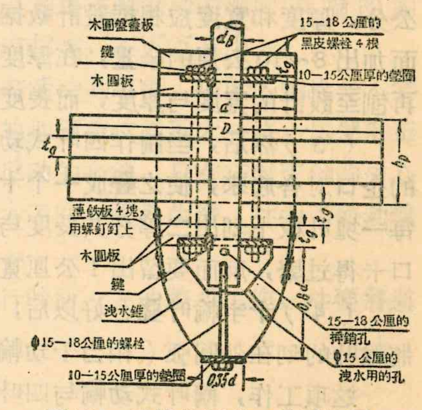


圖127 动輪的零件及其連接圖

金屬主軸穿过动輪的中心，在輪叶以下部分的主軸包藏在泄水錐內，泄水錐內有容納主軸头的槽（圖 127）。

为了水流順暢，輪叶進水緣与出水緣的棱角应予打圓。上部進水緣应根据圖 128 做成圓角，下部出水緣則按圖 131 切成光滑的薄刃。动輪可以用松木來作（直徑在 500 公厘以下、水头在 4 公尺以下时）。但是最好还是采用較硬的木料，如橡木(槲木)、落叶松、榆木等。

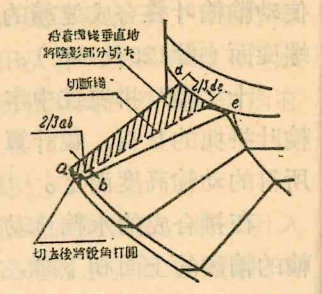


圖128　动輪輪叶進水緣的棱角打圓法

一定要使用不帶有易于脫落的木節的、以及在干燥空气中不致發生裂紋的木板。輪叶的拼塊应該結合緊密，也就是在輪叶裝配完了以后各拼塊間不应該露出空隙來。制造动輪用的木板的厚度以及寬度，必須留出制造过程中必需的相当的余量，幷要經过一定时間的干燥，然后再用來制造輪叶，这样做，可以避免輪叶作成后發生扭曲。制成的动輪表面，应該塗以亞麻油，最好是用人造樹脂漆片塗刷兩次。这种漆片可以在酒精里或油漆里溶解。

水輪机动輪的制造，应該按照以下的順序：

（1）按照設計中所給定的数据或选定的水輪机型号，再根据制定的标准尺寸（附表 1）用厚紙剪出样板來，以便用來制造輪叶的拼塊（圖 129——四叶式动輪用的样板，圖 130——兩叶式动輪用的样板）。

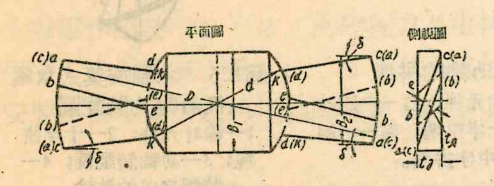


圖129　四叶式动輪輪叶的样板（括弧中的字母代表輪叶背面上的各点）

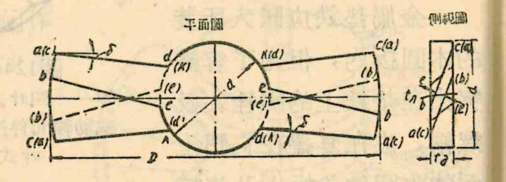


圖130　兩叶式动輪輪叶的样板

（2）准备出必要数量的四面刨光了的木板，木板的長度要大于动輪直徑 2～3 公分，厚度和寬度应根据設計数据，或根据相应型号水輪的标准尺寸，另外在寬度方面加出 8～10 公厘的余量，在厚度方面加出 3～4 公厘的余量，然后烘干。烘干后，再刨至設計的寬度与厚度，而長度則暫时仍保留它原有的余量。

（3）然后，当制作四叶式动輪时，須先將一对輪叶上切割好的相当于板厚之半的企口对合起來，使之叠成一个十字形，叠合时要嚴格地使叶板中心对正，因此要在每一塊叶板上划出二等分其長度与寬度的兩条中心綫。当叠合时，不但不应使輪叶企口卡得过緊，反而要留出 1 公厘寬的間隙；以防止木料因以后膨脹而脹裂(見圖124)。

（4）十字輪叶叠合好以后，用圓規按照动輪直徑及輪轂直徑画出兩个圓，然后將輪叶的划在外圓弧（相当于动輪直徑的圓）以外的部分切去。

这項工作，兩叶式动輪与四叶式动輪是一样的。

（5）按照輪叶样板上所示的字碼位置（圖 129 及 130），在所有木板的兩面依次刺出 a，b，d，e 各点。在圖 129 与 130 中，木板背面相应各点的位置，也用同样的字母表示，只是在字母外面都加上一个括号：(a)，(b)，(d)，(e)。然后在木板的正面画出 ad 及 be 綫，在它的背面画出 $(a)(d)$ 及 $(b)(e)$ 綫。在板头上面画出直綫 $a(b)$，$b(a)$。

（6）鋸出輪叶的兩个曲面 $(a)be(d)$ 和 $a(b)(e)d$。正面的鋸路沿着 be 及 $(a)(d)$ 兩綫前進，背面的鋸路則沿着 $(b)(e)$ 及 ad 兩綫前進。因为鋸开的面是一个曲面，所以在鋸的过程中，不但要注意鋸条是否沿着所画的兩条直綫走，而且还要使鋸条有一些弯曲。鋸路一直前進到輪轂的圓周处为止。鋸这个輪叶的曲面时，最好用兩个人來作：这不僅是因为需要兩个人看着鋸条是否沿着所画的綫走，还因为这一工作是極为重要的。鋸完后用鑿子沿着輪轂圓周剔去已鋸开的斜木条。对兩叶式动輪，在剔去斜木条的同时，即沿着輪轂的圓周，將木板的中部鑿成圓形輪轂。这样，各个輪叶拼塊便作成了（圖 124 甲、丙）。

（7）各个輪叶拼塊制成以后，如果是給四叶式动輪用的，还須再組成十字輪叶拼塊（圖 124 乙），然后再將这些十字拼塊彼此重叠起來，幷要錯开一定的角度，構成輪叶的平滑的螺旋形的表面（圖 125）。如此，水輪机的动輪部分就做成了。兩叶式动輪的做法与此类似。

这样叠成的輪叶，暫时用螺釘或小鉄釘釘在一起，所釘的釘子，应該躲开主軸与螺栓所通过的地方。

（8）在暫时釘在一起的輪叶的上面和下面，各釘上几塊木圓板，在上面釘兩三塊，下面釘一兩塊；这些木圓板的厚度与輪叶所用木板的厚度一样，木圓板的直徑与动輪的轂徑相等。

（9）然后在动輪中心鑽出主軸用的軸孔一个，和压緊螺栓用的孔四个。鑽孔时，由于考慮到鑽头可能發生偏斜，所以应該使孔徑略大一些，以便軸与螺栓順利穿过。在上面和下面的木圓板上嵌入兩塊墊鉄以后（这些墊鉄上事先都鑽好了穿軸与螺栓的孔，幷剔好了鍵槽），即可將貫穿輪叶与木圓板的螺栓上緊；在上緊螺栓之前，要先把主軸及鍵与动輪嵌好，以便在上緊螺栓之前使动輪中心与主軸中心正确地重合。为了使兩塊墊鉄上的孔准确地重合，鑽孔时应該將兩塊墊鉄叠在一起來鑽。

在檢驗主軸中心对正的程度时，所采取的方法是測出主軸到动輪輪叶末端的距离，动輪的上下兩面都要測量一次，測得的数值都应相等，不可互有出入。

为了使动輪对緊密地裝着金屬墊鉄的主軸有少許活动的可能，压緊的螺栓先不要压得过緊。为此目的，木圓板上为放置墊鉄而切出的切槽应作得稍大一些，以便对正軸在动輪上的中心时，墊鉄在木圓板上的切槽內有移动的余地。只有在对正軸的中心后，才可以最后上緊螺栓，將墊鉄固定在动輪上。为了防止螺栓生銹，幷为了使动輪易于拆卸，螺栓的螺紋部分应該塗以黃油。

（10）螺栓擰緊后，可將軸暫时取出，以便進行叶面上下的整平工作，幷要將進出水口的边緣打圓。

（11）在輪叶的边緣上嵌釘上薄鉄条（圖 131）。

（12）最后，当將动輪固定在軸上以后，就可以進行利用螺釘、鉄片和螺栓將泄

水錐固定在动輪上的工作了(圖 127)。鉄片应当使用厚度不小于3公厘的帶鉄制成，鉄片在嵌入木圓板以后，它的表面应与动輪的表面一般平，然后用大的螺釘將鉄片釘在輪轂和泄水錐上。从泄水錐的下面用一根螺栓把它(泄水錐)压緊在軸端上。为此，軸头上螺栓孔的深度应嚴格限制，以防止螺栓旋轉到極限时，会發生轉子沿主軸綫向上的移动。在泄水錐內必須預先挖好容放主軸头和压緊螺栓头的凹槽；此外，为了排出泄水錐內的積水，必須在泄水錐內鑽一透孔，以免冬季停車时積水結冰把泄水錐脹裂。泄水錐以采用整塊的木料較好，它的軸綫应与木紋綫一致。制作时，最好能用普通的旋床來鏇削，但是它也完全可以用手工來作。在安裝泄水錐时，必須使它的中心与水輪机軸的中心精确地对正，并緊固地結合在一起，以防止松动和破裂。在动輪的上部釘上木圓板，在木圓板的下面应該挖好容納螺釘头突出部的凹槽。

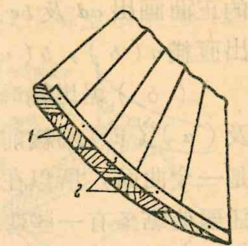


圖131 輪叶边緣的鉄条鑲边

1—帶鉄；2—鉚釘。

吸出管（即尾水管） 木制旋槳式水輪机常采用木制直圓錐形的吸出管，但也完全可以用金屬板焊接成直的或弯的吸出管。

（A）木制直圓錐形的吸出管 是用木桶板拼成的，木板外有鉄箍，它的構造与常見的木桶相似（圖132）。在吸出管上部套有木卡箍，这种卡箍是用兩排5公分厚的松木板或橡木板以木釘穿在一起作成的。吸出管的每一塊桶板都与卡箍从吸出管內側用釘子釘在一起。卡箍的用途，是为了把尾水管吊在導水叶的座环上。作尾水管的桶板，要求的質量較高，应該采用厚度为5公分的沒有裂紋及死節的干燥松木板或橡木板，这是因为保持尾水管不透气，不使空气自外面進入管內，乃是保証水輪正常运轉的重要条件。为了达成这个目的，管子应該很好的箍緊，桶板也应該刨得很精密，吸出管的頂部，应一直伸到座环的底面上（圖132）。为了防止空气侵入吸出管內，吸出管出口至少应該沒入尾水面以下30公分。为了不使吸出管松散和因而破坏它的气密性，在稍高于尾水面的地方应裝置夾緊吸出管用的底梁，底梁应視厂房水下結構的形式，固定于支樁上或是固定在木框上。

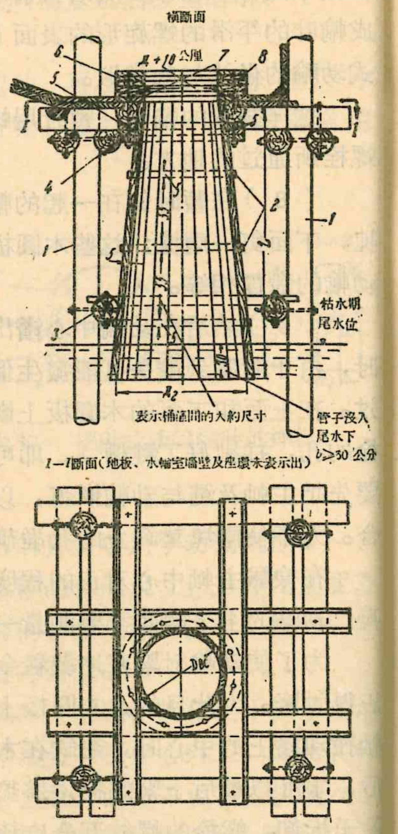


圖132 木制的直圓錐形吸出管及其在水輪机室下固定的情形

1—支樁；2—桶箍；3—夾緊吸出管下部的底梁；4—活动卡箍；5—墊环；6—導水叶的座环；7—浸过煤焦油的麻袋片；8—吊起吸出管的螺栓。

（Б）金屬板焊接的圓錐形吸出管（圖133） 是由6公厘厚的鉄板焊成的，它的上部有凸緣，凸緣下面在周圍有6塊三角筋加固。利用这个凸緣，即可用螺栓將吸出管固定在座环的底面上。为了使吸出管在拆裝时能够拔起或插下，应該使支承梁能向兩旁少許移

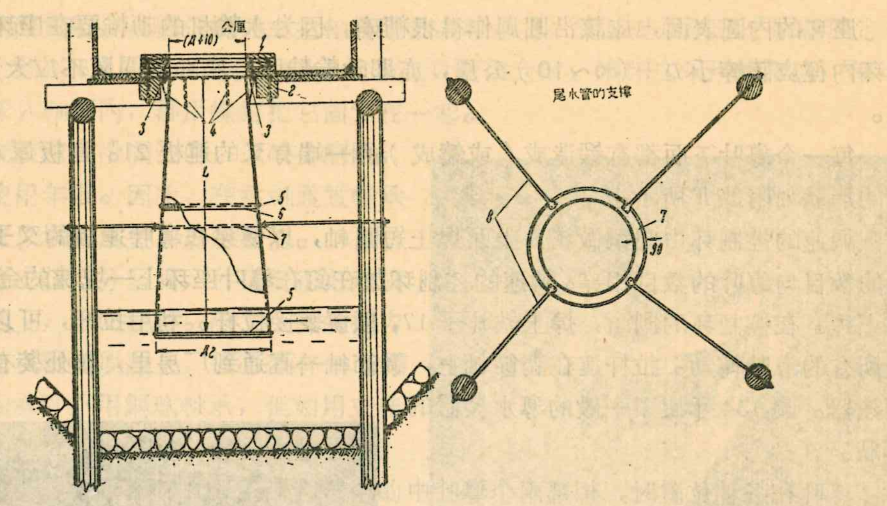


圖133 金屬制直圓錐形吸出管

1—導水叶的座环；2—支承梁；3—凸緣，厚10公厘，寬90公厘；4—三角形加固筋，厚5公厘，6塊；5—加固筋，$d=25$公厘的鋼条焊接而成；6—焊縫；7—凸緣，厚6公厘，寬90公厘；8—圓鋼拉条，$d=25$公厘。

动。

在吸出管腰部稍下的地方，焊上一道凸緣，以便在它的上面固定圓鋼的拉条，拉条的作用是防止吸出管發生側向移动和强烈的震动。拉条的松緊应該能够調節，以便在松弛的时候能把它拉緊。沿着吸出管的長度在管壁上应該焊上若干道圓鋼作的加固筋。

（B）金屬焊接的弯形吸出管 对于水头低于2.5～3公尺、动輪直徑大于500公厘的水輪机，应該采用弯形吸出管來代替直圓錐形的吸出管。

弯形吸出管的形狀，推荐采用全苏水力技術与土壤改良科学研究所(ВНИИГиМ)*設計的弯形吸出管。

導水裝置 現在，木制旋槳式的水輪机，可采用構造簡化了的迴轉叶式的導水裝置，这种導水裝置与水輪机一起都是由斯維尔德洛夫木器工厂設計并成套制造的。根據使用的經驗和試驗室的实驗，可以得出結論：这种調節方法，优于很早以前的木制水輪机所采用的沿主軸綫移动水輪机頂盖以变更導水叶高度進行調速的方法。

本文（附錄Ⅱ）所介紹的導水裝置，是一个由許多木質導叶4構成的圓环，在每个導叶的中間穿着一根螺栓5，各个導叶都可以它为軸心而自由轉动。螺栓5同时还用來作为把座环和導水裝置頂盖2固定在一起的螺栓。

在螺栓上端和下端具有凸肩，如此，借助于墊圈可以將頂盖以上的压力直接傳到座环上去，導叶座环是由厚40～50公厘的松木板做成的，木板的尺寸与数量視座环的內外直徑与木板的寬度而定。座环的高度等于水輪机动輪的工作高度（即动輪輪叶的高度）加上5公分**。

* 参看“水利技術与土壤改良”雜志1949年第3期A.Я.法里可維奇作：“低水头農村水电站水輪机室与吸出管的合理形式”一文。

**当水輪机动輪的工作高度很大时，为了減少座环的高度可使动輪稍許伸入尾水管內，如此，就要把尾水管上段作成圓筒形的，以便于动輪的旋轉。

座环的內圓表面，应該沿圓周作得很精确，因为水輪机的动輪要在座环內迴轉，座环內徑应該等于 $D+(6\sim10)$ 公厘，亦即动輪輪叶与座环的間隙不应大于 3～5 公厘。

每一个導叶下面都有鍛造成（或鑄成）的一端有叉的連板 21。連板厚 10 公厘；它的形狀如附錄Ⅱ所示。

調速的控制环由圓鋼做成，上面焊上短圓軸，以便穿在導叶連板的叉子里，短圓軸的数目与導叶的数目相等。調速的控制环放在釘在導叶座环上一塊塊的金屬支座 18 的上边。在控制环的側面，焊上鉄耳子 17，以便裝接拉杆。利用拉杆，可以使控制环及所有的導叶轉动。拉杆連在調節軸上，調節軸一直通到厂房里，該处裝有帶舵輪的調速器。圖 134 示出了一般的導水裝置的形狀。

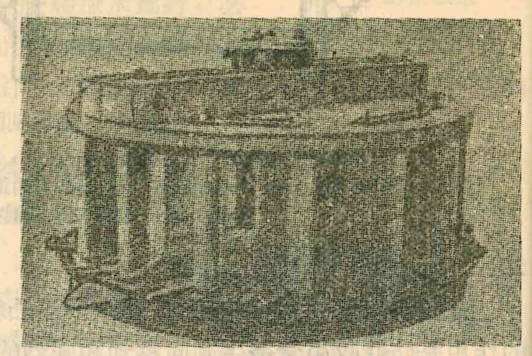


圖134 斯維尔德洛夫木器工厂制的木質水輪机導水裝置的外貌

導叶在各种位置时，相鄰兩个導叶中間的最小間距，称为導叶开度。为了拆裝方便起見，盖在導叶上的頂盖（即水輪机頂盖）是由几塊板拼合而成的。为了使進入动輪的水流順暢，在頂盖下面裝有一个流綫型的固定轂心。轂心底面的直徑与动輪輪轂的直徑相等，它的頂圓的直徑等于 D 減去 4 公分，D 为轉子直徑。轂心的高度可以根据它与动輪輪轂間保持 5 公厘的間隙算出來，动輪輪叶的上緣，应該比導水裝置座环的頂面低 5 公分。

水輪机的支承裝置 为了承受垂直方向的負載*，水輪机主軸的上端要裝在推力軸承之內（圖 135），这样，水輪机就被懸挂起來了，此外不再需要其他的推力軸承。

这里的軸承应能承受由皮帶拉力或齒輪傳动及軸的振动而產生的側压力。因此，小容量的水輪机上部的推力軸承应該采用圓錐形的鋼輥軸承，或是采用兩个鋼球軸承——一个是推力的，一个是輻向的，兩个鋼球軸承一上一下，裝在同一个軸承箱里，圖 135 为用于第 3 号水輪机上，裝在鑄鉄軸承外壳內的圓錐形鋼輥推力軸承，圖右側并画出了另一种采用鍛造軸承外壳的形式。

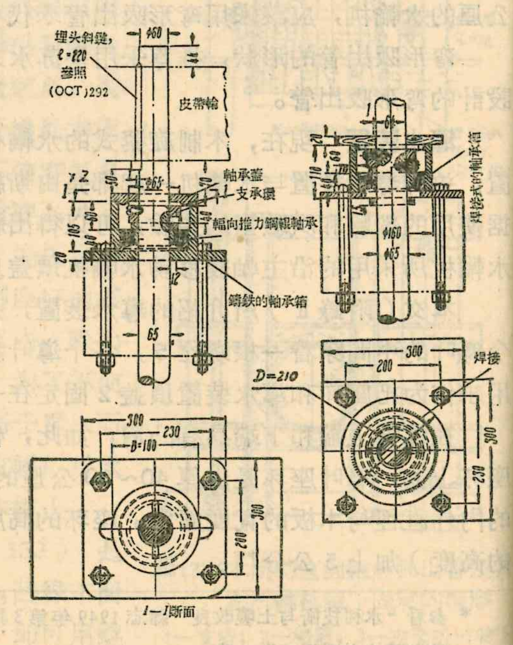


圖135 第 3 号木制水輪机上用的鋼輥推力軸承

* 包括頂盖及动輪的重量、作用在动輪上的水压力、傳动裝置的重量及作用力以及振动力等。

所有垂直負載，都經过鋼环由主軸傳到推力軸承上，鋼环是用兩三个頂絲固定在主軸上的（圖 135）。当水輪机主軸上的垂直負荷很大时，鋼环应采用兩半的，每半个环稍許嵌入軸槽內，再用螺釘把它固定在一起。

軸承应該浸在滑潤油內，以减少磨阻，增加它的使用年限。因此，在主軸通过軸承箱底处，应以填料压盖，以防漏油。

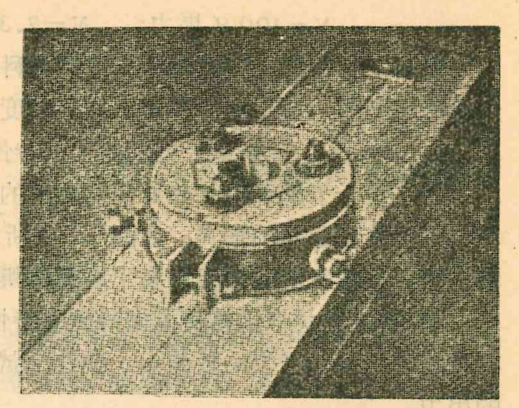


圖136 裝在圓木箱內的夾布膠木制的導軸承，木箱外为鉄卡箍，在軸承中間可以看見三塊可拆換的夾布膠木軸瓦

軸承箱应該十分坚固，并且要很好地固定在支承梁上，以防振动。除了上部的推力軸承外，在水輪机頂盖上，还必須有一个導軸承。導軸承可以用鋼球軸承，但如用夾布膠木或橡木軸承，則更为簡便，也十分坚固。这种軸承的構造表示在附錄Ⅱ中；它整个的外形如圖 136 的照片所示。因为軸承常易磨損，所以軸承应該由几塊軸瓦拼成，然后用螺栓把它們压在一起，这样，在更換軸瓦时，可不把水輪机拆卸开來。軸承卡在圓木箱內，圓木箱裝在組合成的支承梁里，支承梁是固定在頂盖上的。

四、裝有木制旋槳式水輪机的水电站的設計

为了設計或选擇水輪机，应当給出下列条件：

（1）水头或落差 H（公尺），即水輪机室入口前導水槽內的水位与泄水渠口（尾水管出口处）的水位之差；

（2）通过水輪机的最大流量 Q（秒公方）；

（3）水輪机的轉数 n（轉/分鐘）。

前边已經講过，水輪机只有在它的出力略小于最大出力时，才具有最高的效率。但是，对于木制旋槳式水輪机來說，这兩个出力之差是極为微小的，这从圖 1396 所示的試驗曲綫中可以看出來，因此，出力之差可以略而不計，也就是說，可以認为水輪机在最高效率时的出力就是最大出力，此时通过的流量也是最大的。

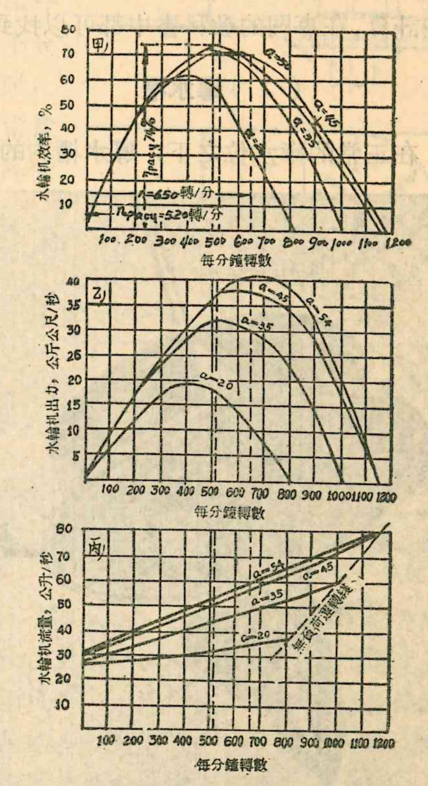


圖137 木制旋槳式水輪机模型試驗所得的轉速特性曲綫（全苏水利技術与土壤改良科学研究所于1946年作）

在实驗室中和現場上对木制旋槳式水輪机工作情况的研究結果証明，最高效率可保証为 0.75。

將此值代入出力公式，即可得到水輪机出力的簡單公式如下：

$$N=10QH\ 馬力;\quad N=7.36\ QH\ 瓩$$

圖 138 为全苏水利技術与土壤改良科学研究所水力試驗室所作的木制旋槳四叶式水輪机的模型，这个模型在導水裝置开度不同时的轉数特性曲綫如圖 137 所示。

圖 139a 所示就是这个模型的工作特性曲綫。

为了便于了解水輪机在負荷变化时的工作情况，有必要把工作特性曲綫化成所謂“出力”特性曲綫的形式。如圖 139б 所示，其中 Q 与 η 为縱坐标，水輪机的出力为横坐标。根据这些曲綫很容易了解水輪机的工作狀况。

圖 139в 是这个水輪机模型的流量特性曲綫，由这个曲綫可以特别清楚地看出，只有在流量达到相当大的数值——在这个試驗中約达最大流量的 35%时，才能發出有效的出力。

最后还应該指出，我們在下面將直接研究裝有木制旋槳式水輪机的水力裝置的設計，而不叙述水能与静力的計算，因为这些計算，在專門的教科書中都可以找到。

（1）導水槽

在正常的壅水位之下，導水槽內的水深不应小于 1 公尺，因为在水輪机工作时，水庫內水位的下降幅度，有时可能相当大。

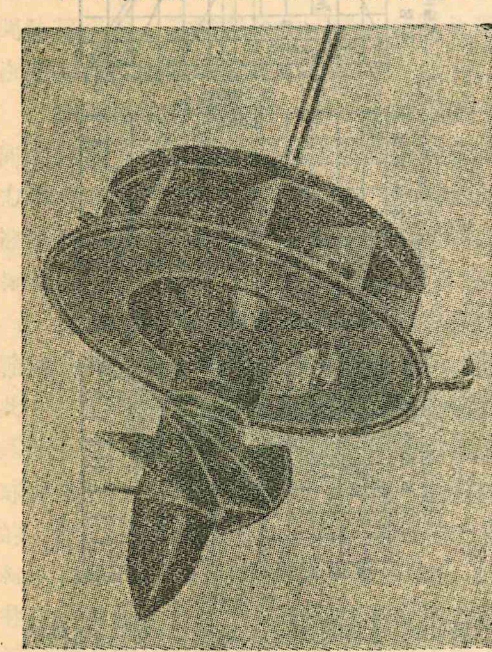


圖138 木制旋槳式水輪机模型（全苏水利技術与土壤改良科学研究所于 1946年作）

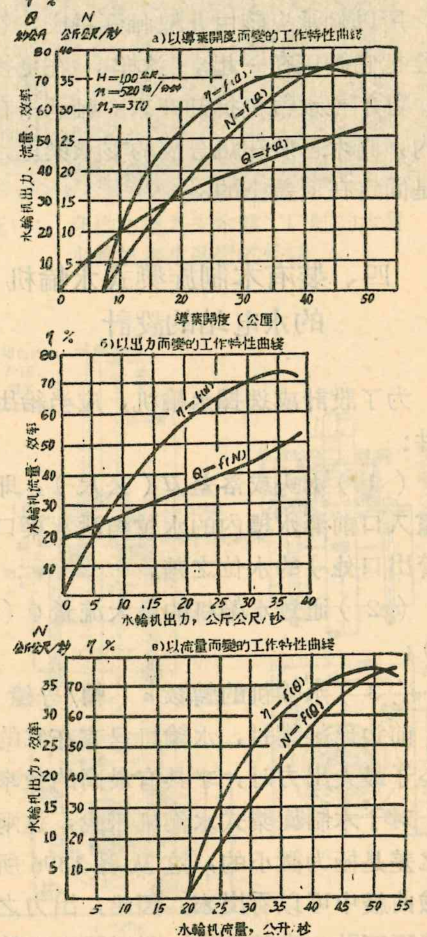


圖139 木制旋槳式水輪机模型的工作特性曲綫（全苏水利技術与土壤改良科学研究所作，即圖 138 照片上的模型）

为了避免水头損失过大，当槽內水位正常时，槽內流速一般采用 $v=0.6\sim0.8$ 秒公尺。

如此，導水槽的寬度 b 可按下式算出：

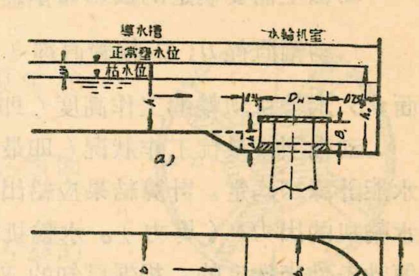
$$b=\frac{Q}{vh}$$

式中 Q——水輪机的設計流量。

導水槽壁在最高水位以上的超高应为 0.3 到 0.4 公尺。为了修理的时候導水槽可以放干，導水槽底最好有一点坡度（0.005～0.01）。

（2）水輪机室

理論与經驗都証明，为了使導向水輪机动輪的水流尽量減少它的水能損失，并为了避免發生漩渦，水輪机室的形狀最好是蝸壳形的。經驗証明，甚至僅將水輪机在矩形水輪机室內从它的縱向对称軸綫向右（因一般水輪都是沿順时針方向旋轉）移动机室寬度的 10%，也可立即使水輪机的效率抬高。反之，若將水輪机布置在水輪机室的中心，則在導水时將發生过多的水头損失。我們要除去这种額外的損失，并不会引起結構的复雜化，实际上也不会使电站的建設費用加多。当使用矩形水輪机室时，甚至当水輪机頂盖沒入水內相当深的时候，也常常發現有漩渦，使空气被吸到水輪机里去，因而降低了它的效率。



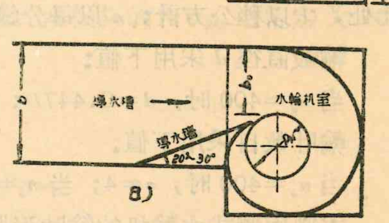


圖140 开敞式水輪机的蝸狀室
D_H—導水裝置的外徑

水輪机室的入口断面寬度 b_0（見圖 140б 与 в）由允許流速确定。該允許流速 v_k 在正常壅水位时建議在下列范圍內选用：

$$v_k=(0.5\sim0.7)\sqrt{H}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(92)$$

水輪机室進水断面的面積，可按下式計算：

$$\omega_k=b_0h_0=\frac{Q}{v_k}$$

式中 h_0——在正常壅水位之下的水輪机室內的水深。

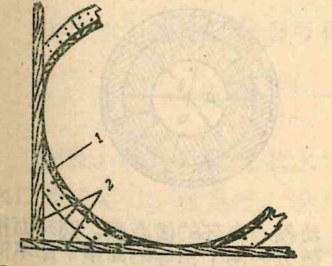


圖141 木制蝸狀室墻壁構造的平面圖
1—蝸狀室的板壁；
2—矩形水輪机室的不透水板壁。

水深 h_0（圖 140a）应以能保証水輪机的導水裝置在上游水位最低时至少沒入 0.5 公尺为度。使用蝸壳形水輪机室时，这样大的沒入深度能保証不發生漩渦，并不会吸入空气。当座环在水輪机室底以上的高度为 0.2 公尺及導水板高度为 B_1 时，水輪机室內水深 h_0 的数值应为：

$$h_0\geqslant B_1+\Delta H+0.70\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(93)$$

式中 ΔH——最低水位与正常壅水位的差。

· 求出水深 h_0 以后，可立即算出入口断面寬度 b_0。b_0 值最好与 b 值相近（圖 140 б），以使水流由矩形導水槽平穩地進入蝸壳形水輪机室里去。

但常常是計算出的 b_0 要比 b 小。如此，要想使槽中的水流平穩地流入蝸壳，則需在水輪机室入口处加一道傾斜的導水牆（圖 140 в）。它的傾斜度越平緩越好。

水輪机室的牆壁应有一个准确的曲綫外形。蝸壳曲綫系由八点繪制成的，見圖 140б（在蝸壳曲綫的末端都根据進入導叶的水流情況，比照理論的坐标值加寬了一些）。

釘制蝸壳时，先在矩形水輪机室的牆壁和地板上釘上几道曲綫样板，使之構成蝸狀曲綫，然后在曲綫样板上再釘上一層立木板，这样就制成蝸壳了。蝸狀室的牆壁并不要求密合与不漏水。只要蝸壳外面的矩形水輪机室不漏水就可以了。

水輪机室入口处，要作成光滑的斜面（見圖140a）。

（3）水輪机的动輪

动輪上需要确定的数据如下：

1.动輪直徑 D；2.輪轂直徑 d 或它对 D 的比值 $\frac{d}{D}=m$；3.輪叶数目 z；4.輪叶剖面；5.水輪机动輪的工作高度（即輪叶的高度）h_p。

动輪須按最优工作狀况（即最高效率）設計。如前所述，这种工作狀况应預先由水能計算來确定，計算結果应給出：水头 H(公尺)；流經水輪机的流量 Q(秒公方)；水輪机的出力 N（馬力）。水輪机的轉数 n，是根据把水輪机的能量傳遞給發电机的傳动条件來选定的。根据已知的 N, n, H 各值，來計算水輪机的比速 n_s 值。

动輪直徑按下式計算：

$$D=4.5\sqrt[3]{\frac{Q}{n}}\text{（公尺）} \qquad (94)$$

此处，Q 以秒公方計；n 以每分鐘轉数計。

輪轂直徑 d 采用下值：

当 $n_s=400$ 时，$d=0.447D$；当 $n_s=600$ 时，$d=0.300D$。

輪叶数目采用下值：

当 $n_s=400$ 时，$z=4$；当 $n_s=400\sim600$ 时，$z=2$。

木制旋槳式水輪机的輪叶形狀是用簡易的方法繪制的。輪叶具有以直綫为母綫的螺旋面（所謂直綫形母綫系指將它所在的圓柱面展成平面后的情況）。

这样，設計輪叶剖面时，只須找出其中一条母綫对水平綫的傾角，然后即可根据螺旋綫的关系，求出其他一切尺寸。一般采用一个圓柱断面作为計算断面，这个水平傾角就是为这个断面求出來的。这个圓柱断面將动輪輪轂与座环內圓之間的圓环面積分为兩个通过相等流量的面積相等的部分（圖 142）。因此，这个圓柱断面的直徑 D_C 为：

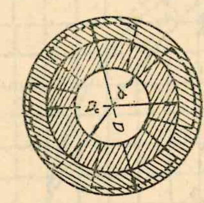


圖142 动輪与座环的横断面。圓环面積被分为兩个相等的面積（即不同方向陰影綫所示的兩部分）

$$D_C=\sqrt{\frac{D^2+d^2}{2}}=\sqrt{\frac{1+m^2}{2}}D=\mu D \qquad (95)$$

由旋槳式水輪机的原理得知，在圓柱断面中的輪叶的剖面应該是曲綫形的（如圖 143）。

我們用一条直的母綫來代替原來的曲綫剖面。为了求出該母綫的水平傾角，需要先求出足以代表輪叶剖面的特征的基本数据，即輪叶剖面的平均進水角 β_{1c} 与出水角 β_{2c}。計算时还要提出下述假定：

水流內各質点經过动輪的运动被認为是完全与水輪机軸对称的，也就是認为水流完全是在各同心的圓柱面上流动的，也就是說沒有輻向的分速度。

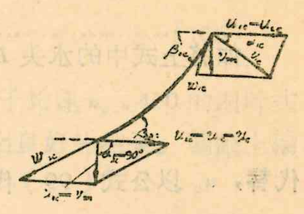


圖143 水流在輪叶進出口的速度三角形

在圖 143 內，画出了輪叶進水口与出水口的速度三角形，其中所用的符号如下：

v_{1c}, v_{2c}——輪叶進出水口水流的絕对速度；

w_{1c}, w_{2c}——輪叶進出水口水流的相对速度；

v_{u1c}, v_{u2c}——絕对速度的水平分速；

v_m——絕对速度的垂直分速。假定在進、出水口都是相等的；

$u_c=u_{1c}=u_{2c}$——圓周速度，对于定徑为 R_C 的圓柱断面为一常数；

β_{1c}, β_{2c}——輪叶進出水口的曲面对水平綫的平向傾角；

α_{1c}, α_{2c}——進出水口絕对速度对水平綫的傾角。

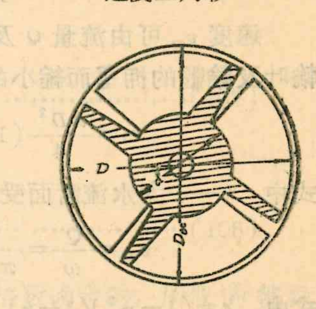


圖144 木制水輪机动輪的横断面

为了避免因水流在尾水管內旋轉而造成水头損失，水輪机的角 α_{2c} 通常定为 90°（即軸向泄水），因此

$$v_{2c}=v_m,\quad v_{u2c}=0$$

由進水口速度三角形可得：

$$v_m(\cot\alpha_{1c}+\cot\beta_{1c})=u_c$$

因而

$$\cot\beta_{1c}=\frac{u_c-v_m\cot\alpha_{1c}}{v_m}=\frac{u_c-v_{u1c}}{v_m} \qquad (96)$$

由出水口速度三角形可得：

$$\cot\beta_{2c}=\frac{u_c}{v_m} \qquad (97)$$

因此，輪叶曲面在進水口处采用 β_{1c} 傾角，將不会發生水流对輪叶的冲击，在出水口处采用 β_{2c} 傾角时，泄入尾水管內的水流將是軸向的。顯然，若以一根直綫代替 β_{1c}、β_{2c} 所定的曲綫，則直綫的水平傾角 β_c，將介乎 β_{1c} 及 β_{2c} 之間。由此可見，在以直綫母綫代替曲綫之后，水流在進水口处將發生某种程度的冲击，而泄水口处的水流也將不是軸向的。所以在設計木制旋槳式水輪机时，采用 $\cot\beta_c$ 等于 $\cot\beta_{1c}$ 及 $\cot\beta_{2c}$

之和的算術平均值。即：

$$cot\beta_c=\frac{u_c-0.5v_{u1c}}{v_m}\cdots\cdots(98)$$

速度 u_c 可以通过与每分鐘轉数 n 的关系來表示：

$$u_c=\frac{\pi D_c n}{60}\cdots\cdots(99)$$

速度 v_{u1c} 可由水輪机工作过程的方程式求得，其中 $v_{u2c}=0$，所以方程式可簡化为：

$$\eta H=\frac{u_c\cdot v_{u1c}}{g}$$

如將上式中的水头 H 以比速公式

$$n_s=\frac{3.65n\sqrt{\eta Q}}{H^{\frac{3}{4}}}$$

代替，u_c 以公式（99）代替，則 v_{u1c} 便可求得如下：

$$v_{u1c}=\frac{107\eta^{\frac{5}{3}}gn^{\frac{1}{3}}Q^{\frac{2}{3}}}{D_c n_s^{\frac{4}{3}}}\cdots\cdots(100)$$

速度 v_m 可由流量 Q 及圓环断面 ω（假定 $D=D_{BC}$）來表示，但应將該断面因受輪叶及輪轂的拥塞而縮小的情况考慮在內（圖 144），如此，則

$$\omega=\frac{\pi D^2}{4}(1-m^2)(1-k)$$

式中　k——为水流断面受輪叶及輪轂的拥塞系数。如此即可得出速度 v_m 的公式

$$v_m=\frac{Q}{\omega}=\frac{4Q}{\pi D^2(1-m^2)(1-k)}=\frac{4Q}{\lambda\cdot\pi D^2}\cdots\cdots(101)$$

式中　$\lambda=(1-m^2)(1-k)$。

將 u_c，v_{u1c} 及 v_m 的值代入公式(98)，并代入 $D_c=\mu D=4.5\mu\sqrt[3]{\frac{Q}{n}}$，經过簡化后得

$$cot\beta_c=\lambda\left(3.74\mu-\frac{1,860\eta^{\frac{5}{3}}}{\mu n_s^{\frac{4}{3}}}\right)\cdots\cdots(102)$$

設計时，需要給定輪叶中边緣断面的傾角 β_D。根据螺旋面的关系式，可由下式求得傾角 β_D：

$$cot\beta_D=\frac{1}{\mu}cot\beta_c=\lambda\left(3.74-\frac{1,860\eta^{\frac{5}{3}}}{\mu^2 n_s^{\frac{4}{3}}}\right)\cdots\cdots(103)$$

对于四叶动輪，一般选用 $m=0.447$，而在一般的輪叶傾角下，系数 k 平均采用 0.18，因而

$$\lambda=(1-m^2)(1-k)=(1-0.447^2)(1-0.18)=0.657$$

这个动輪的 μ 值为

$$\mu=\sqrt{\frac{1+m^2}{2}}=\sqrt{\frac{1+0.447^2}{2}}=0.773$$

將已計算出的各个系数值代入公式（103），并采用效率 $\eta=0.75$，即得

$$cot\beta_D=2.46-\frac{1,270}{n_s^{\frac{4}{3}}}$$

試驗研究的結果說明，四叶式动輪的 $cot\beta_D$ 值应比上述計算值加大 10% 左右，因此，β_D 的最后計算公式应为

$$cot\beta_D=2.71-\frac{1,400}{n_s^{\frac{4}{3}}}\cdots\cdots(104)$$

对于兩叶式动輪，当 $m=0.3$ 时，各系数可取平均值如下：

$k=0.07$，于是 $\lambda=0.847$，$\mu=0.738$

而計算傾角 β_D 的公式如下：

$$cot\beta_D=3.17-\frac{1,795}{n_s^{\frac{4}{3}}}\cdots\cdots(105)$$

应当指出，上面所采用的計算輪叶断面傾角的方法，对于比速 $n_s\leqslant400$ 的四叶式水輪机与比速 n_s 在 500～600 以下的兩叶式水輪机，都能給出良好的結果。輪轂上輪叶的傾角 β_d，可按螺旋面由下式求得

$$cot\beta_d=m\,cot\beta_D\cdots\cdots(106)$$

水輪机动輪的工作高度 h_p，是按以下公式計算的：

对于四叶式动輪：当 $m=0.447$ 及 $\lambda=0.657$ 时

$$h_p=\frac{5,290D\,sin^2\beta_D}{n_s^{\frac{1}{3}}}\cdots\cdots(107)$$

对于兩叶式动輪：当 $m=0.3$ 及 $\lambda=0.847$ 时

$$h_p=\frac{13,630D\cdot sin^2\beta_D}{n_s^{\frac{1}{3}}}\cdots\cdots(108)$$

动輪高度的最后尺寸，是根据每層旋槳拼塊厚度 $t_Д$ 的倍数确定的，所取的整数应比計算值 h_p 稍大一些，但若整数的 $t_Д$ 比計算的 h_p 小 5% 以內时，也是可以允許的。

动輪的基本尺寸决定以后，就可着手設計旋槳的样板了。

圖 129 所示是四叶式动輪的旋槳，圖 130 是兩叶式动輪的。

需要确定的旋槳尺寸如下：

1. 制作旋槳的木板厚度 $t_Д$，这个厚度一般規定为 3～5 公分。
2. 輪叶边緣厚度 $t_Л$，这个厚度建議采用下述值：

   当 D 小于 400 公厘时，$t_Л=10$ 公厘；

   当 D 为 400～800 公厘时，$t_Л=15$ 公厘；

   当 D 大于 800 公厘时，$t_Л=20$ 公厘。
3. 輪叶末端水平面積寬 ab，按下列公式計算：

$$ab=\frac{t_Л}{sin\beta_D}\cdots\cdots(109)$$

4. 輪叶末端斜边的水平投影寬度 bc：

$$bc=t_Д\cdot cot\beta_D\cdots\cdots(110)$$

5. 輪叶与輪轂相連处斜边的水平投影寬度 ek：

$$ek=t_Д cot\beta_d=t_Д m\,cot\beta_D=m\cdot bc\cdots\cdots(111)$$

6.輪叶与輪轂相連处水平面積寬度 de。

根据輪叶的强度看來，輪叶与輪轂相連处的厚度 t_b 不应小于表 25 內所列的數值：

表 25

动輪直徑 D(公厘)	輪轂处輪叶厚度 t_d(公厘)
400以下	30～40
400～600	40～50
600及600以上	40～60

de 值可由厚度 t_b 求出：

$$de=\frac{t_b}{\sin\beta_d} \qquad (112)$$

式中 β_d—即按公式 $\cot\beta_d=m\cot\beta_D$ 求得的輪叶与輪轂相連处的傾角。

由公式（112）求得的 de 值，應該進行一次校核，即根据輪叶棱綫 ck、ad 与样板中心綫（亦即木料纖維的走向）的夾角 δ（見圖 129 与 130）來校核。这个 δ 角不許大于 10°。

按圖 129 与 130 可以寫出下式：

$$ab+bc=de+ek+\frac{2(D-d)}{2}\tan\delta$$

代入 $\tan\delta=\tan 10°=0.175$，即得：

$$ab+bc=de+ek+0.175(D-d)$$

由此可得：

$$de\geqslant ab+bc-ek-0.175(D-d) \qquad (113)$$

7.作旋槳的木料的寬度 B。

四叶式动輪輪叶所用木板的寬度，可先按輪轂直徑 d 与 $ab+bc$ 求得二个數，可取其中較大的一个作为样板的木料寬度 B。輪轂直徑 d 当將兩塊木板（样板）拼成十字时，即可得出。此时，

$$B\geqslant\frac{d}{\sqrt{2}} \text{（見圖 145）} \qquad (114)$$

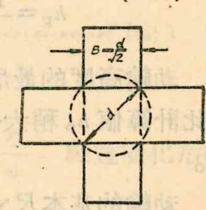


圖145　四叶式动輪輪叶的十字拼塊

或者 $B\geqslant ab+bc$ (115)

对于兩叶式动輪，它使用的木板寬度按第一个条件說來应当是

$$B\geqslant d \qquad (116)$$

而按第二个条件說來，与四叶式动輪輪叶寬度的算法相同，即

$$B\geqslant ab+bc \qquad (117)$$

構成动輪的十字形輪叶拼塊的層數 z_1 可按下式計算

$$z_1=\frac{h_p}{t_Д} \qquad (118)$$

算出后，將它化为偏大一些的整數。

泄水錐的長度应在（0.8～1.2）d 范圍以內。

动輪主軸的直徑，应按下式計算：

$$d_b=14.6\sqrt[3]{\frac{N}{n}} \text{（公分）} \qquad (119)$$

式中　N——水輪机出力（馬力）；n——水輪机軸每分鐘轉數。

（4）導水裝置

導水裝置的基本参变數如下：

1.導水裝置內徑 D_b，亦即最优开度情况下導叶泄水端点所在的圓周直徑（見附錄Ⅱ）。

2.導水裝置外徑 D_H，亦即最优开度情况下導叶進水端点所在的圓周直徑。

3.導水裝置高度 B_1。

4.導叶數目 z_0。

5.角度 α，即在最优开度情况下導叶中心綫与經过導叶泄水端点对導水裝置內徑圓周所作的切綫間的夾角（附錄Ⅱ）。

6.導叶的断面。

導水裝置的內徑可以采用：

$$D_b=D+40\text{（公厘）} \qquad (120)$$

式中　D——动輪直徑（公厘）。

導水裝置的外徑建議按下列公式計算：

$$D_H=1{,}000D\left(1+0.03\sqrt{\frac{n_s}{D}}\right)\text{（公厘）} \qquad (121)$$

式中　D——动輪直徑（公尺）。

水輪机頂盖以及座环的直徑

$$D_K=D_H+40\text{（公厘）}$$

導水裝置的高度 B_1（見附錄Ⅱ）由 D 与 n_s 确定，如左表所列；導叶的數目 z_0 应采用右表各值。

当 $n_s=300$ 时	$B_1=0.30D$
当 $n_s=400$ 时	$B_1=0.40D$
当 $n_s=600$ 时	$B_1=0.45D$

D（公厘）	z_0
300～400	10
500～700	12
800～1,000	16
1,000以上	18

導叶軸綫与導水裝置內圓泄水端点切綫間的夾角 α 可按下式計算（当 $\eta=0.75$ 时）：

$$\tan\alpha=\frac{n_s^{\frac{4}{3}}}{9{,}250\varepsilon} \qquad (122)$$

式中　$\varepsilon=\frac{B_1}{D}$

導叶長度 l 按下式計算：

$$l=\frac{D_b}{2}\left(\sqrt{\left(\frac{D_H}{D_b}\right)^2+\sin^2\alpha-1}-\sin\alpha\right) \qquad (123)$$

導叶的断面建議按圖 146 繪制。

各導叶旋轉軸心应布置在如下直徑的圓周上：

$$D_{л}=\sqrt{1.2l^2+D_{b}^2+2.2D_{b}l\ sin\alpha} \quad \cdots\cdots(124)$$

導叶軸心距其泄水端点（尖端）的間距为 $0.55l$（圖 146）。

与附錄 I 中各种标准尺寸的木制水輪机相对应的導水裝置的零件尺寸，詳見附錄 II。

導水裝置轉动时的扭轉力很小，因为它的轉軸軸心与水流压力中心很接近——这个扭力只要一个人就能很容易地克服，故不必進行專門計算。

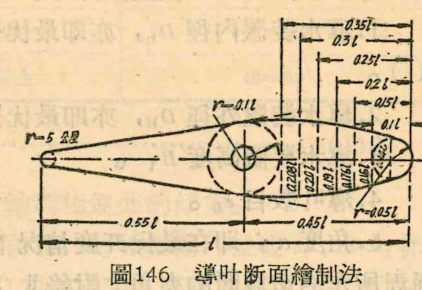


圖146 導叶断面繪制法

（5）吸出管（尾水管）

圓錐形吸出管的基本尺寸为（圖 147）：入口断面直徑 D_1；出口断面直徑 D_2；吸出管長 L；擴散角 θ。

吸出管入口断面的直徑由动輪直徑來确定：

$$D_1=D+2\Delta \quad \cdots\cdots(125)$$

式中　Δ——动輪輪叶末端与座环內壁間的允許間隙，一般采用 3～5 公厘。

吸出管出口断面直徑 D_2，須根据按下式求出的出口允許流速來确定：

$$v_{\text{вых}}\leqslant(0.5\sim0.7)\sqrt{H} \quad \cdots\cdots(126)$$

从而

$$D_2=2\sqrt{\frac{Q}{\pi v_{\text{вых}}}}$$

圖147 吸出管示意圖

吸出管長由直徑 D_1，D_2 及 θ 确定，計算公式如下（圖 147）：

$$L=\frac{D_2-D_1}{2tan\dfrac{\theta}{2}} \quad \cdots\cdots(127)$$

擴散角 θ 不应过大，否則水流即將脫离管壁，吸出管也將不能以全断面工作。

擴散角 θ 与 $\dfrac{L}{D_1}$ 比值有关，建議按表 26 的关系采取 θ 角的值。

表26

$\dfrac{L}{D_1}$	1	2	4	10
$\theta°$	10～18	7～12	5～8	3～5

为了确定 $\dfrac{L}{D_1}$ 的比值，首先应該确定吸出管長 L，管長 L 的計算公式如下：

$$L=H-h_0+0.30\ 公尺$$

H——当水电站下游水位最低时的总水头；

h_0——水輪机室內的水深。

求得的吸出管的長度 L，应能保証空气不会从下边進入吸出管里去。因此，吸出管的出口，至少应沒入最低尾水位下 0.3 公尺。

若上述由計算所得的吸出管長不能滿足这个要求时，則需要把吸出管加長。可是实际上發生的現象正好与此相反，即按計算条件求得的吸出管是很長的，因而常必須很深地沒入到尾水位以下去。

当水头 $H=2.5\sim3.0$ 公尺或更小时，要按照表 26 的条件制造直的吸出管是特別困难的。在这种情况下，为了使吸出管的擴散角合乎标准，常不得不將它很深地浸入水下。这樣就加大了水下挖方的数量，水下挖方数量往往大到無法施工的地步，因为在吸出管下面的泄水渠加固部分的底部，要求与吸出管出口相距（1.0～1.5）D，D 为动輪直徑。因此在低水头水电站內应改用鋼板焊制的弯尾水管。

（6）泄　水　渠

泄水渠受水部分的断面应設計得使吸出管附近不發生水位壅高的現象。为此，应在吸出管下設一受水斗，它的底寬等于水輪机室的淨寬（即圖 140б 內 B 字所指示的尺寸），边坡应为 1:1～1:1½。当泄水渠很長时，可在受水斗以外逐漸將泄水渠縮小，縮至与導水渠相同的尺寸。泄水渠內的水深应以能保証渠內流速不大于从吸出管出來的流速为准，同时也不应超过渠道土壤的冲刷流速。

因为吸出管下面受水斗加固部分的底部常比渠道底部为低，所以在受水斗与泄水渠連接的一段渠底上，要做出光滑的斜坡，坡度在 1:3～1:4 之間，这樣就可避免相当大的局部損失了。

（7）例　題

現在需要設計一个水电站，其中裝有一台木制旋槳式的水輪机，以及与發电机相連接的傳动裝置，設計的数据如下：

設計水头（除去導水槽与泄水渠內的損失）$H=3$ 公尺；

上游水位漲落幅度 $\Delta H=0.2$ 公尺；

設計流量 $Q=0.75$ 秒公方；

水輪机的最高效率采用 $\eta=0.75$。

〔解〕水輪机的出力为：

$$N=10QH=10\times0.75\times3.0=22.5\ 馬力$$

采用四叶式动輪的最高比速 $n_s=400$ 作为設計水輪机时所用的比速：

$$n_s=\frac{n\sqrt{N}}{H\sqrt[4]{N}}=\frac{n\sqrt{22.5}}{3\sqrt[4]{3}}=400$$

由此可得，水輪机的轉数 $n=333$ 轉/分鐘，在有必要設置皮帶傳动裝置时，这樣大的轉速也是適当的。

導水槽　在設計条件下，采用導水槽内水深 $h=1.0$ 公尺，允許流速 $v=0.8$ 公尺/秒。

導水槽寬度 $b=\frac{Q}{vh}=\frac{0.75}{0.8\times1}=0.94$ 公尺；

采用 $b=1$ 公尺。

水輪机动輪　动輪直徑按公式（94）計算如下：

$$D=4.5\sqrt[3]{\frac{Q}{n}}=4.5\sqrt[3]{\frac{0.75}{333}}=0.59 \text{ 公尺}$$

采用 $D=600$ 公厘。

采用輪轂直徑 $d=mD=0.447\times600=268$ 公厘。

輪叶傾角按公式（104）与（106）計算：

$$\cot\beta_D=2.71-\frac{1,400}{n_s^{\frac{4}{3}}}=2.71-\frac{1,400}{400^{\frac{4}{3}}}=2.23$$

从而查得 $\beta_D=24°10'$；

$$\cot\beta_d=m\cot\beta_D=0.447\times2.23=0.998$$

从而查得 $\beta_d=45°$。

动輪的工作高度由公式（107）計算如下：

$$h_p=\frac{5,290D\sin^2\beta_D}{n_s^{\frac{4}{3}}}=\frac{5,290\times0.6\times0.168}{400^{\frac{4}{3}}}=0.181 \text{ 公尺}=181 \text{ 公厘}$$

采用由四層十字形輪叶拼塊叠成的动輪，每層厚 $t_л=45$ 公厘，因此 $h_p=45\times4=180$ 公厘。

輪叶末端的厚度采用 $t_л=17.5$ 公厘，輪叶与輪轂相連处的厚度采用 $t_b=48$ 公厘。

样板的尺寸求得如下：

$$ab=\frac{t_л}{\sin\beta_D}=\frac{17.5}{0.423}=42.7\approx43 \text{ 公厘}$$

$$bc=t_л\cot\beta_D=45\times2.23=100 \text{ 公厘}$$

$$ek=m\cdot bc=0.447\times100\approx45 \text{ 公厘}$$

$$de=\frac{t_b}{\sin\beta_d}=\frac{48}{0.71}=67 \text{ 公厘}$$

按照公式（113）的条件校核 de 如下：

$$ab+bc-ek-0.175(D-d)=43+100-45-0.175\times(600-270)=40 \text{ 公厘}<67 \text{ 公厘}$$

因而，仍以采用 $de=67$ 公厘为佳。

輪叶所占的过水断面为：

$$4\times\frac{ab+de}{2}\times\frac{D-d}{2}=(0.043+0.067)\times(0.60-0.27)=0.0363 \text{ 平方公尺}$$

整个圓环面積：

$$\omega=\frac{\pi D^2}{4}(1-m^2)=\frac{3.14\times0.6^2}{4}\times(1-0.45^2)=0.226 \text{ 平方公尺}$$

輪叶的拥塞系数 k 为

$$k=\frac{0.0363}{0.226}=0.162$$

用所得的值來代替計算时所取的值 $k=0.18$“見公式（104）上的說明”。

当 $k=0.162$ 及所采取的 $m=0.45$ 时，λ 值將为：

$$\lambda=(1-0.162)\times(1-0.45^2)=0.667$$

而公式（104）將改为以下的形式：

$$\cot\beta_D=2.75-\frac{1,420}{n_s^{\frac{4}{3}}}$$

当 $n_s=400$ 时得 $\cot\beta_D=2.27$ 及 $\beta_D=24°40'$ 以代替 $24°10'$。

这样的誤差是完全可以允許的，所以可不变更原計算的木板寬度。

按旋槳輪轂的尺寸（公式 114），求得輪叶木板寬度：

$$B=\frac{d}{\sqrt{2}}=\frac{270}{\sqrt{2}}=190 \text{ 公厘}$$

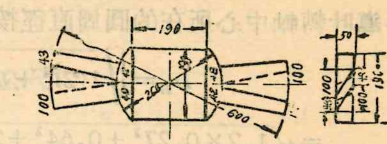


圖148　四叶式水輪机輪叶拼塊样板

輪叶末端的木板寬度（公式 115）：

$$B=ab+bc=43+100=143 \text{ 公厘}$$

采用以上兩个 B 值中的較大值，即取 $B=190$ 公厘，設計的样板如圖 148 所示。

泄水錐的長度采用：

$$0.8d=0.8\times268=215 \text{ 公厘}$$

在泄水錐頂面与最下一層的十字形輪叶拼塊之間，加入一个木圓盤。在最上一層十字形拼塊之上加放兩个木圓盤，然后与动輪其他部分用螺栓穿釘在一起。在上面的兩个木圓盤之上，再压上第三个木圓盤，以遮盖螺栓的螺絲帽，这个圓盤以木螺絲固定在动輪輪轂上。

水輪机主軸直徑按公式（119）計算：

$$d_b=14.6\sqrt[3]{\frac{N}{n}}=14.6\sqrt[3]{\frac{22.5}{333}}=5.95 \text{ 公分}$$

所以采用 $d_b=60$ 公厘。

導水裝置　導水裝置的內徑按公式（120）計算：

$$D_b=D+40=600+40=640 \text{ 公厘}$$

它的外徑按公式（121）計算：

$$D_H=1,000D\left(1+0.03\sqrt{\frac{n_s}{D}}\right)=1,000\times0.6\times\left(1+0.03\sqrt{\frac{400}{0.6}}\right)=1,060 \text{ 公厘}$$

水輪机頂盖直徑 D_K：

$$D_K=1,060+40=1,100 \text{ 公厘}$$

導水裝置高度 B_1，当 $n_s=400$ 时，为

$$B_1=0.4\times D=0.4\times600=240 \text{ 公厘}$$

導叶数目采用 $z_0=12$，導水板中心綫与導水裝置內圓周切綫的夾角 α，按公式（122）計算：

$$\tan\alpha=\frac{n_s^{\frac{4}{3}}}{9,250\varepsilon}=\frac{400^{\frac{4}{3}}}{9,250\times0.4}=0.795$$

$$\alpha=38°30',\ \sin\alpha=0.623$$

導叶長度按公式（123）計算，当 $\frac{D_H}{D_b}=\frac{1,060}{640}=1.65$ 时：

$$l=\frac{D_b}{2}\left(\sqrt{\left(\frac{D_H}{D_b}\right)^2+\sin^2\alpha-1}-\sin\alpha\right)=\frac{640}{2}(\sqrt{1.65^2+0.623^2-1}-0.623)$$

$$=270\ 公厘$$

各導叶轉軸中心所在的圓周直徑按公式（124）計算：

$$D_л=\sqrt{1.2l^2+D_b^2+2.2D_b\cdot l\cdot\sin\alpha}$$

$$=\sqrt{1.2\times0.27^2+0.64^2+2.2\times0.64\times0.27\times0.623}=0.856\ 公尺=856\ 公厘$$

座环的高度 $h_p+50=180+50=230$ 公厘*。与圖 133 相似，座环嵌入地板內50公厘。

水輪机室　水輪机室進水口的流速按公式（92）計算：

$$v_k=0.5\sqrt{H}=0.5\sqrt{3}=0.87\ 公尺/秒$$

在給定的流量之下，水輪机室的進口断面为

$$\omega_k=\frac{Q}{v_k}=\frac{0.75}{0.87}=0.86\ 平方公尺$$

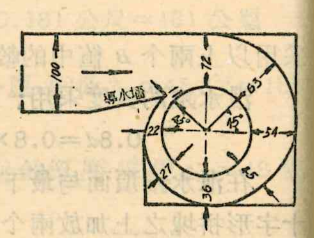


圖149　蝸壳形水輪机室

水輪机室內的水深 h_0，須按導水裝置的淹沒条件"公式（93）"來确定：

$$h_0=B_1+\Delta H+0.7=0.24+0.2+0.7=1.14\ 公尺$$

采用 $h_0=1.20$ 公尺，比計算值有一点富余。

水輪机室入口处斜坡的高度

$$\Delta h=h_0-h=1.20-1.00=0.20\ 公尺$$

水輪机室的進水口寬度

$$b_0=\frac{\omega_k}{h_0}=\frac{0.86}{1.2}=0.72\ 公尺$$

由導水槽到水輪机室需要有一个小的斜坡。水輪机室的平面圖如圖 149 所示。

吸出管　采用直立圓錐式尾水管。

取座环与动輪輪叶外緣間的間隙 $\Delta=3$ 公厘，得吸出管的進水口直徑为

$$D_1=D+2\Delta=600+2\times3=606\ 公厘=0.606\ 公尺$$

吸出管出口流速，按公式（126）計算：

* 此式原文为 $h_p+50=200+50=250$ 公厘，但 h_p 值与以前所計算的 180 公厘不符，疑有誤，乃改如上式——編注。

$$v_{вых}=0.6\sqrt{H}=0.6\sqrt{3.0}=1.04\ 公尺/秒$$

吸出管出口断面計算如下：

$$\omega_2=\frac{Q}{v_{вых}}=\frac{0.75}{1.04}=0.72\ 平方公尺$$

吸出管出口的直徑 D_2 可求得为 $D_2=0.96$ 公尺。

茲先求出吸出管的長度 L 为

$$L=H-h_0+0.3=3.0-1.2+0.3=2.1\ 公尺$$

于是比值 $\frac{L}{D_1}=\frac{2.1}{0.606}=3.5$

查表26，当 $\frac{L}{D_1}=4.0$ 时，圓錐角的極限值为 $\theta=8°$，根据公式（127）計算，吸出管应有的長度如下：

$$L=\frac{D_2-D_1}{2\tan\frac{\theta}{2}}=\frac{0.96-0.606}{2\tan4°}=2.50\ 公尺$$

由水輪机室內的水面到吸出管進水口的水深，如將座环嵌入地板內的 5 公分計算在內，則將等于：$h_0+0.05=1.2+0.05=1.25$ 公尺。

于是在尾水位以上的吸出管長度为

$$H-1.25=3.0-1.25=1.75\ 公尺$$

吸出管应沒入尾水位以下的深度为 $L=2.5-1.75=0.75$ 公尺。吸出管下面的受水斗底部应比吸出管出水口低 $1.2D=1.2\times0.6=0.72$ 公尺。

所以受水斗的总深度將近 1.5 公尺。

最好能把受水斗的总深度減少一些。如此則需要把吸出管縮短，也就是說，令吸出管的泄水流速加大，使它的值比設計中采用的高一些。

支承部分与皮帶輪　支承軸承采用圓錐式鋼輥軸承。

把主軸支承在軸承上的圓环，它的高度采取等于40公厘，以三个螺釘固定于軸上，环上有鑽好的螺絲孔。

裝在水輪机頂蓋上的導軸承，采用夾布膠木的或橡木（槲木）的。

水輪机軸上的出力 $N=22.5$ 馬力$=16.6$ 瓩。

当傳动效率 $\eta_n=0.93$ 及發电机效率 $\eta_r=0.85$ 时，發电机的出力为：

$$N_r=N\cdot\eta_r\cdot\eta_n=16.6\times0.85\times0.93=13.1\ 瓩$$

發电机轉数 $n_r=1,000$ 轉/分；

皮帶輪直徑 $d_r=360$ 公厘；

皮帶輪寬度 $B_r=200$ 公厘。

水輪机皮帶輪直徑 d_T 按下列公式計算：

$$d_T=1.02\frac{n_r}{n_T}d_r=\frac{1.02\times1,000}{333}\times360=1,100\ 公厘$$

皮帶輪間距不应小于 4.5 公尺。　　　　（陈乾元譯）

六、農村水电站的傳动設备

B.C.格伏斯捷夫等

水利部北京勘測設計院水电組按：根据我組在四川和福建兩省所調查的大部分小型水电站來看，以往所建的小型水电站对于傳动設备的設計是考慮得不够的，不是弄得厂房很大（傳动皮帶过長）就是皮帶过短，还有很多厂用齒輪傳动，很复雜而且效率不高。因此我組組織兩位同志譯出本篇，供小型水电站的設計和改進的參考。我們的意見是以平皮帶和三角皮帶傳动为最好。我國生產的平皮帶和三角皮帶的規格可參照輕工業部的產品样本。

I 概 説

在所有的農村水电站中，对于出力大于 120～130 瓩的机組的能量傳遞都采用直接傳动(即把水輪机軸直接与發电机軸联接起來)。但如果水輪机的轉速很高，那末虽然机組容量很小，水輪机也可以与發电机在同一根軸上工作。对于出力小于120～130瓩的机組，假如它的轉速不够大，則从水輪机軸到發电机軸的能量傳遞就用皮帶傳动。这时，所有的横軸水輪机为了傳遞能量到横軸發电机的軸上都采用平皮帶傳动，而所有的立軸水輪机为了傳遞能量到立軸發电机的軸上則都用三角皮帶傳动。所有其他形式的傳动設备如：半交叉皮帶傳动、錐形齒輪傳动（它是先从水輪机的立軸傳到中間傳动横軸上，然后再用皮帶傳到發电机軸上），以及減速齒輪等，或是由于傳动效率低，或是由于技術复雜和价錢昂貴而不予推荐。

平皮帶傳动

平皮帶的最大优点是簡單易做和工作非常可靠。当裝設恰当时，平皮帶傳动的效率为 0.95。这种傳动形式的缺点是發电机距水輪机相当远，因此加大了机器房的尺寸。

平皮帶傳动的各个部分的基本計算公式为：

$$n_{T} d_{T} = n_{\Gamma} d_{\Gamma} \quad \cdots\cdots (1)$$

或

$$i = \frac{n_{\Gamma}}{n_{T}} = \frac{d_{T}}{d_{\Gamma}} \quad \cdots\cdots (2)$$

式中：n_T——水輪机的轉速（轉/分）；

n_{Γ}——發电机的轉速（轉/分）；

d_T——水輪机皮帶輪（即主动皮帶輪）的直徑；

d_{Γ}——發电机皮帶輪（即从动皮帶輪）的直徑；

i——傳动比数。

当計算水輪机到發电机的傳动时，通常是根据工厂大批生產的發电机的標准皮帶輪的尺寸。

在發电机的皮帶輪为一定的尺寸时，水輪机皮帶輪的尺寸按照下式計算：

$$d_T = \frac{1.02 d_{\Gamma} n_{\Gamma}}{n_T} \quad \cdots\cdots (3)$$

式中的 1.02 为約計到皮帶的滑动而加上的系数。这样，皮帶輪的实际尺寸就常常比（1）式所算得的要稍許大一点。有些人常常会錯誤地用（1）式來計算主动皮帶輪的直徑。

皮帶的速度按下式計算：

$$v = \frac{\pi d_T n_T}{60} = \frac{\pi d_{\Gamma} n_{\Gamma}}{60} \text{ 公尺/秒} \quad \cdots\cdots (4)$$

式中 d_T 和 d_{Γ} 都以公尺計。

为了使皮帶傳动設备能很好地工作，皮帶应有足够大的速度（例如 20～25 公尺/秒）；下層皮帶一般应作为主动部分，并且为了使傳动工作進行得更好，兩皮帶輪中心的联綫应尽可能地接近水平。

平皮帶傳动的正常工作，在很大程度上隨較小的一个皮帶輪即發电机皮帶輪的皮帶包圍角而定。因为傳动比数增大則發电机皮帶輪的皮帶包圍角就減小，所以平皮帶的傳动比数不应大于 4。为了保証較小直徑的皮帶輪的包圍角不致于过小，同样也不应減小發电机軸和水輪机軸的間距，这个間距用实际工作中得來的專門公式計算。在这些公式中，最通用的一个公式（也是本文所推荐的公式）是按照皮帶輪的直徑來确定輪心間的最小距离 $L_{МИН}$（圖 1）。这个公式如下：

$$L_{МИН} = 2(d_T + d_{\Gamma}) \quad \cdots\cdots (5)$$

过大和过小的輪心間距，对于皮帶傳动都有不良的影响。最合適的輪心間距視計算得出的皮帶寬度而定，并可采用表（1）中所列的数値。

圖 1

表 1

皮帶寬（公分）	10	20	30	50	80
最合適的輪心間距L（公尺）	5.5	8.0	9.0	10.0	11.0

在实际工作中，为了減少水电站机器房的面積，采用的輪心間距常比表 1 中所列的小得多，而接近于按（5）式得出的最小值。

当選擇皮帶断面时，应注意到寬而薄的皮帶比寬而厚的皮帶要好，但皮帶的寬度

应符合發电机标准皮帶輪的寬度。在規定皮帶的厚度时，应根据較小的皮帶輪的直徑。在表2中按照各种皮帶的耐久性列出皮帶的最大許可厚度δ与皮帶輪直徑d的比值。在这个表中对应于δ/d的最大値列出了皮帶每一平方公分截面積上的許可应力；这些許可应力是在下列条件下根据試驗得來的：皮帶的綫速度$v=10$公尺/秒，較小的皮帶輪的包圍角$\alpha=180°$，傳动設备在正常的負荷下工作而沒有震动和冲击。

表2

皮帶型式	δ/d的最大值	許可应力K_0（公斤/平方公分）
牛皮帶	$\frac{1}{40}$	22
橡皮皮帶	$\frac{1}{40}$	20
棉織皮帶	$\frac{1}{50}$	17
毛織皮帶	$\frac{1}{30}$	13

如果傳动皮帶的使用条件与确定容許应力K_0时的条件不同，那末皮帶的实际有效应力K应按下式确定：

$$K=K_0cf\varepsilon \quad \cdots\cdots(6)$$

式中　c——速度系数，与皮帶的綫速度有关：

当$v<20$公尺/秒时，$c=1.0$；

当$v=20\sim25$公尺/秒时，$c=0.95$；

当$v=25\sim30$公尺/秒时，$c=0.85$。

f——系数，与較小的一个皮帶輪的皮帶包圍角有关：

当$\alpha=180°$时，$f=1.00$；

当$\alpha=150°$时，$f=0.90$；

当$\alpha=120°$时，$f=0.80$。

ε——与傳动情况及農村水电站的情况有关的系数，它随負荷的均勻性而变化于0.8～0.9之間。

皮帶的必需長度按下式計算：

$$l=\pi\left(\frac{d_T}{2}+\frac{d_\Gamma}{2}\right)+2L+l_{сш} \quad \cdots\cdots(7)$$

式中：$l_{сш}$——用于縫合或膠合的皮帶長度，采用等于0.4～0.75公尺，視皮帶的寬度和層数而定。

水电站机組的傳动皮帶可以采用牛皮的、橡皮的、棉織的和駱駝毛織的。但我們不建議采用牛皮皮帶，因为牛皮很缺乏，而且它可以用其他材料的皮帶來代替。棉織皮帶不宜用于潮湿的房間里，同时也不宜于在負荷常有变化的条件下工作，而在農村水电站里，負荷总是有变化的。用几層棉布以硫化橡膠膠合起來的橡皮皮帶使用得最普遍，因为它制做容易，而且潮湿和溫度变化对它的影响很小。

橡皮皮帶的标准尺寸列在表3中（按ГОСТ101—41）。

表3

皮帶寬度（公厘）	層数	皮帶厚度（公厘）
20、25、30和40	2	2.50
	3	3.75
50、60和70	3	3.75
	4	5.00
	5	6.25
80和100	3	3.75
	4	5.00
	5	6.25
	6	7.50
125、150、175、200、225	4	5.00
	5	6.25
	6	7.50

皮帶寬度（公厘）	層数	皮帶厚度（公厘）
250、300	4	5.00
	5	6.25
	6	7.50
	7	8.75
350、400和450	5	6.75
	6	8.10
	7	9.45
	8	10.80
500	5	6.75
	6	8.10
	7	9.45
	8	10.80
	9	12.15

当已知發电机和水輪机的皮帶輪的直徑以及轉速时，根据从水輪机軸傳到發电机軸的能量N來选定皮帶的方法如下：

（а）按公式（4）确定皮帶的綫速度；

（б）根据所采用的水輪机軸与發电机軸的間距和傳动比数，确定發电机皮帶輪的皮帶包圍角。这个角度可以用繪制傳动圖解的方法求得，也可以用公式(11)來計算。

（в）根据表（2）和公式（6）确定所选定的皮帶的实际許可应力。

（г）根据所傳遞的能量N（瓩）和皮帶的綫速度v（公尺/秒），按下式确定圓周力：

$$P=102N/v\text{公斤} \quad \cdots\cdots(8)$$

（д）确定皮帶的断面積：$\omega=\frac{P}{K}$平方公分。

（е）根据發电机皮帶輪的直徑，利用表2中的資料來确定皮帶的最大許可厚度，这一厚度应按同一类型皮帶的标准尺寸修正为較小的一个标准厚度。

（ж）根据皮帶的断面積和选定的厚度δ确定它的寬度$b=\omega/\delta$（公分），并修正为該类型皮帶的标准尺寸。然后按發电机皮帶輪的寬度來檢査采用这种皮帶的可能性。

（з）根据公式（7）确定皮帶的必需長度。

例：选擇橡皮皮帶以便將能量自工作水头为7.5公尺的Ф300—ГФ—71型水輪机傳遞到С13—4—8型的發电机上；水輪机的轉速为每分鐘302轉，發电机的轉速为每分鐘750轉。所傳遞的最大能量N为112.5瓩；發电机皮帶輪的直徑$d_\Gamma=71$公分，寬度$b_\Gamma=40$公分。則水輪机皮帶輪的直徑为：

$$d_T=\frac{10.2d_\Gamma n_\Gamma}{n_T}=180\text{公分}$$

由此，傳遞比数$i=\frac{n_\Gamma}{n_T}=2.48$。

水輪机軸与發电机軸的間距为 5.5 公尺。

为选定皮帶進行下列的計算：

（а）根据公式（4）計算皮帶的綫速度：

$$v=\frac{3.14\times0.71\times750}{60}=27.8\text{ 公尺/秒}$$

（б）用作圖法求得發电机皮帶輪的皮帶包圍角約为 165°；

（в）根据表（2）和公式（6），考慮到皮帶的綫速度、包圍角和工作条件，皮帶的許可应力为：

$$K=20\times0.85\times0.90\times0.85=13\text{ 公斤/平方公分}$$

（г）傳动时的皮帶圓周力：$P=\frac{102\times112.5}{27.8}=413$ 公斤；

（д）皮帶断面積：$\omega=413/13=31.8$ 平方公分；

（е）根据表（2）确定皮帶的最大厚度：$\delta=\frac{710}{48}=17.7$ 公厘，采用 $\delta=9.45$ 公厘；

（ж）根据选用的皮帶厚度确定皮帶的寬度：$b=\frac{31.8}{0.945}=33.7$ 公分，采用 $b=35$ 公分。

因此，在給定的条件下应采用寬 350 公厘、厚 9.45 公厘并具有 7 層的橡皮皮帶。皮帶的長度：$l=3.14(\frac{0.71}{2}+\frac{1.8}{2})+2\times5.5+0.60=15.50$ 公尺。

三角皮帶傳动

三角皮帶傳动的特点是皮帶与皮帶輪能更好地結合，所以当傳动比数較大时它可以保証較短的中心間距 L（圖 2）。同时，不論皮帶輪在什么位置它都能很好地工作。因此，廣泛地采用这种皮帶來將能量从立軸水輪机傳遞到立軸發电机。在安裝得合適的情况下，三角皮帶的傳动效率約为 0.96。这种傳动的缺点是皮帶的使用时期比平皮帶傳动要短一些，皮帶輪的价錢也比較高。

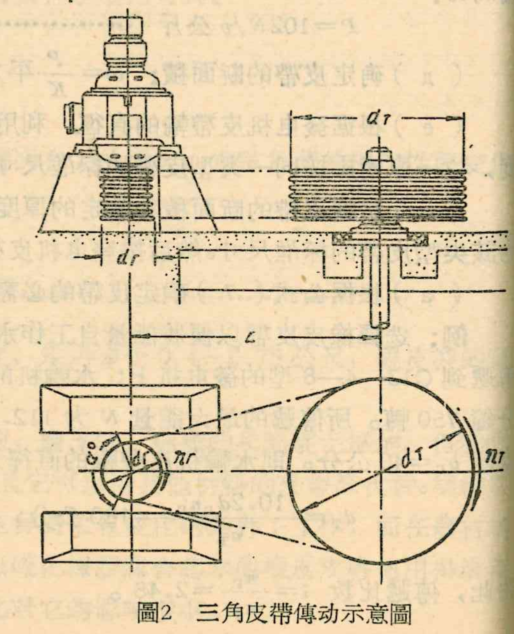


圖2　三角皮帶傳动示意圖

三角皮帶傳动的皮帶輪的尺寸，与平皮帶傳动一样也根据發电机和水輪机的轉速按公式（3）來确定。但由于三角皮帶的滑动很小而可以忽略不計，因此皮帶輪直徑的公式变成如下的形式：

$$D_T=\frac{d_\Gamma n_\Gamma}{n_T}\cdots\cdots\cdots\cdots(9)$$

当計算从立軸水輪机軸到立軸發电机軸的傳动时，应先計算較小的皮帶輪（即發电机的皮帶輪）的直徑，然后按它再來确定水輪机皮帶輪的直徑。如果皮帶在輪槽中的位置正确，并且包圍角不小于 180°，則采用繞过輪子的皮帶的節圓綫上兩个徑向相对点間的直綫距离作为三角皮帶的皮帶輪的計算直徑。

必須考慮到，当减小皮帶輪的直徑时，皮帶所傳遞的能量也將减少，因而傳遞效率也要降低；同时由于皮帶的弯曲度增大而將使它的使用时期縮短。

皮帶輪直徑 d 与皮帶厚度 h 之比，即 d/h（見圖 3），系表征較小皮帶輪的最小允許直徑的数值。对于三角皮帶，采用比值 $d/h\approx27$。

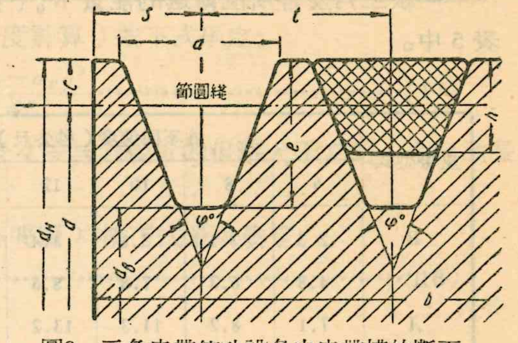


圖3　三角皮帶傳动設备中皮帶槽的断面和皮帶的位置

傳动比数，即水輪机和發电机轉速的比数，或者是水輪机和發电机的皮帶輪直徑的比数，在三角皮帶傳动中可以达到 10。

三角皮帶都是做成环形的，它有多种的标准截面和長度。工厂里生產有七种标准的截面。按小型水电站的需要，我們僅采用其中最適合于所傳遞的能量和所选用的皮帶輪的 В、Г 和 Д 三种型式。此外，为了使三角皮帶傳动設备标准化，每种皮帶只有四种長度。

皮帶的截面和長度的标准尺寸列于表（4）中。此外对于每一种皮帶截面，相应于它每一个按內周量得的長度給出按節圓綫量得的計算長度，这一長度在計算皮帶輪的間距时应用。

表 4

適用于農村水电站的三角皮帶的型式（ГОСТ1284—45）

皮帶型式	皮帶橫截面			相应于各种內周長（公厘）的計算長度（公厘）				可傳遞的能量
	a（公厘）	h（公厘）	φ°	3,500	4,500	6,300	8,000	（近似的）（瓩）
В	22	13.5	40	3,594	4,544	6,344	8,044	35以下
Г	32	19.0	40	3,610	4,560	6,360	8,060	80以下
Д	38	23.5	40	—	4,574	6,374	8,074	80以上

三角皮帶的皮帶輪的最小中心間距有时采用等于較大的一个皮帶輪的直徑，即 $L_{мин}=d_{макс}$，中心間距愈小，單位时間內皮帶所發生的弯曲次数愈多，則其耐久性也愈差。因此必須避免过小的中心間距。三角皮帶傳动的皮帶輪的中心間距最大許可值等于：

$$L_{макс}=2(d_T+d_\Gamma)\cdots\cdots\cdots\cdots(10)$$

將（10）式和（5）式加以比較，可以看出在平皮帶傳动时認为最小的中心間距成为三角皮帶傳动中的最大的中心間距。

虽然当包圍角为 90° 时，三角皮帶傳动設备还是可以工作得很可靠，然而較小的輪子的皮帶包圍角还是不应小于 120°。包圍角按下式确定：

$$\alpha=180°-\frac{(d_T-d_\Gamma)60°}{L} \qquad (11)$$

皮帶的速度（按 4 式計算）不应超过 25 公尺/秒。根据 ЦНИИТМАШ 的实驗，效率最大的皮帶速度是 10 公尺/秒，而傳遞最大能量时的速度则为 22 公尺/秒。速度小于 5 公尺/秒是不合理的，因而是完全不能采用的。

一根三角皮帶所能傳遞的能量 N_0（瓩），随皮帶的綫速度而变，它的数值列于表 5 中。

表 5

皮帶型式	在不同速度（秒公尺）下，一根皮帶所能傳遞的能量（瓩）									
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
В	2.3	3.1	3.8	4.4	4.9	5.4	5.9	6.2	6.4	6.5
Г	4.8	6.3	7.8	8.6	10.3	11.2	12.2	12.8	13.2	13.4
Д	7.1	8.2	11.3	13.2	14.9	16.2	17.6	18.5	19.3	19.3

上表所列的能量值是在包圍角等于 180°、傳遞的負荷均匀而平穩的条件下确定的；如果包圍角小于 180°，則应加入改正系数 k_1，改正系数根据包圍角按表 6 确定。

表 6

包圍角（度）	180	170	160	150	140	130	120	110	100
改正系数 k_1	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.85	0.82	0.79	0.76

对于不均匀的負荷則加入改正系数 k_2，在農村水电站中，k_2 采用等于 0.9。

因此，实际上一根皮帶所能傳遞的能量按下式确定：

$$k_1k_2N_0=0.9k_1N_0 \qquad (12)$$

傳遞一定能量所需要的皮帶根数 z，按下式計算：

$$z=\frac{N}{0.9k_1N_0} \qquad (13)$$

式中 N 为所需傳遞的能量（瓩）。

皮帶輪的外徑 d_H 和內徑 d_B 按下式計算：

$$d_H=d+2c \qquad (14)$$

$$d_B=d_H-2e \qquad (15)$$

皮帶輪的寬度 b 按下式确定：

$$b=(z-1)t+2s \qquad (16)$$

式中 c、e、t、s 和 φ 的数值（見圖 3），与皮帶的型式有关，可从表 7 中取得。

为了避免損伤輪子的外緣，很多工厂往往不得不增大 s 的尺寸，特别是当輪子較大时。

三角皮帶的皮帶輪各部分的标准尺寸　表 7

皮帶型式	尺寸（公厘）				相应于各种皮帶輪直徑（公厘）的 φ 角（度）										
	c	e	t	s	200	250	315	400	500	630	710	800	1,000	1,250	1,600
В	7	22	27	18	34	36	38	40	40	40	40	40	40	40	40
Г	9	30	38	23	—	—	34	36	38	40	40	40	40	40	40
Д	12	36	44	26	—	—	—	—	34	34	36	38	40	40	40

皮帶的計算長度 l（按它的節圓綫的長度計算）按下式确定：

$$l=2L+1.57(d_T+d_\Gamma)+\frac{(d_T-d_\Gamma)^2}{4L} \qquad (17)$$

这样計算得的皮帶長度，应当变换成表 4 中与它接近的但略大于它的一个标准長度。

根据所选的皮帶長度 l，皮帶輪的中心間距 L 按下式最后确定：

$$L=A+\sqrt{A^2-B} \qquad (18)$$

式中 $A=\frac{l}{4}-0.393(d_T+d_\Gamma)$；

$B=0.126(d_T-d_\Gamma)^2$。

当水輪机和發电机皮帶輪的直徑、它們的轉速和傳遞的能量給定时，三角皮帶傳动的計算可按下列步驟進行：

（а）根据公式 4 确定皮帶的綫速度；

（б）近似地确定中心間距，令它接近于但較大于水輪机皮帶輪的直徑；

（в）根据 11 式計算較小直徑的皮帶輪的皮帶包圍角；

（г）按所需傳遞的能量，从表 4 中选定皮帶的型式；

（д）按照表 5，引用表 6 和公式 12 中的修正值，确定一根皮帶上所能傳遞的能量；

（е）根据公式 13 确定皮帶根数；

（ж）根据公式 17 确定皮帶的計算長度，然后按照表 4 修正成标准尺寸；

（з）根据公式 18 确定皮帶輪的中心間距；

（и）根据公式 14、15、16 和表 7 确定水輪机和發电机皮帶輪的各个部分的尺寸。

例：設計一个三角皮帶傳动設备。拟傳遞的能量等于 94.5 瓩，發电机皮帶輪的直徑为 450 公厘，水輪机皮帶輪的直徑为 1,400 公厘，發电机的轉速为每分鐘 750 轉，水輪机的轉速为每分鐘 240 轉。

按照計算的步驟進行下列的計算：

（а）皮帶的綫速度：$v=\frac{3.14\times0.45\times750}{60}=17.7$ 公尺/秒；

（б）皮帶輪的中心間距初步采用：$L=1.5$ 公尺 $>d_T$；

（в）發电机皮帶輪的皮帶包圍角等于：$\alpha=180°-\frac{(1.40-0.45)60°}{1.5}=142°$；

（г）根据所需傳遞的能量，选用Г型皮帶；

（д）确定每根皮帶所能傳遞的能量：$0.9\times0.89\times12=9.6$ 瓩；

（е）确定皮帶的根数：$z=\frac{94.5}{9.6}\approx10$；

（ж）确定皮帶的計算長度：$l=2\times1.5+1.57(1.4+0.45)+\frac{(1.4-0.45)^2}{4\times1.5}$ $=6.05$ 公尺；采用标准尺寸 6.36 公尺；

（з）确定中心間距：$L=0.863+\sqrt{(0.863)^2-0.114}=1.66$ 公尺；

式中 $A=\frac{6.36}{4}-0.393(1.40-0.45)=0.863$；$B=0.126(1.4-0.45)^2=0.114$；

（и）發电机皮帶輪的外徑：$d_{Г.Н}=45+2\times0.9=46.8$ 公分；

發电机皮帶輪的内徑：$d_{Г.В}=46.8-2\times3=40.8$ 公分；

水輪机皮帶輪的外徑：$d_{Т.Н}=140+2\times0.9=141.8$公分；

水輪机皮帶輪的内徑：$d_{Т.В}=141.8-2\times3=135.8$公分；

水輪机和發电机皮帶輪的寬度：$b=(10-1)\times3.8+2\times2.3=38.8$公分。

根据表7采用發电机皮帶輪皮帶槽的楔形角为36°，水輪机皮帶輪皮帶槽的楔形角为40°。

II 选擇傳动設备所用的諾模圖

选擇平皮帶和三角皮帶傳动設备时，建議采用圖4所示的諾模圖。为了便于使用，傳动設备的諾模圖分成三角皮帶傳动的諾模圖（а）和平皮帶傳动的諾模圖(б)。这兩个諾模圖都划分成很多的平行四边形，每一个平行四边形相应于某一独立的机組，即一定型式的水輪机和發电机。

在选擇傳动設备时，利用曾用以选擇水輪机与發电机的相同的坐标（即水輪机的軸出力和水头），找到相应于該机組的平行四边形，然后从圖上讀出傳动設备的序号和水輪机及發电机皮帶輪的尺寸。这样选定的傳动設备的全部技術数据都可以按序号从下面的表中查得。表中所列的全部平皮帶和三角皮帶的数据都是根据相应的ГОСТ，以及苏联水力机械制造机关关于水輪机皮帶輪的标準資料和水輪發电机的工厂資料而确定的。

裝备着Ф300—ГО和Ф300—Гф型水輪机而軸出力不大于135瓩的水电站宜于采用平皮帶傳动設备。当傳动比数在1:1.24至1:3.92的范圍内时，一切的任务用17組平皮帶來解决。用作为計算基礎的發电机的皮帶輪，总共有四种直徑，即36、45、63和71公分。水輪机皮帶輪的直徑則有80、105、125、140、150、160和180公分等七种直徑。各种傳动設备的各部分的尺寸列于表8中。

表中所列的橡皮皮帶的尺寸，系按每一机組的最大出力而选定的，假如实际的机組出力比在同一方塊中的机組的最大出力要小，則皮帶的截面可重新計算。

从表中取得的水輪机皮帶輪的所有尺寸，在定貨时必須預先說明。虽然發电机皮帶輪是按照工厂的圖紙选用，但是因为某些發电机可以采用几种尺寸的皮帶輪，所以在定貨时也必須預先說明它的尺寸。

裝設Ф300—ВО和ПРК70—ВО型水輪机而軸出力不大于146瓩的水电站宜于采

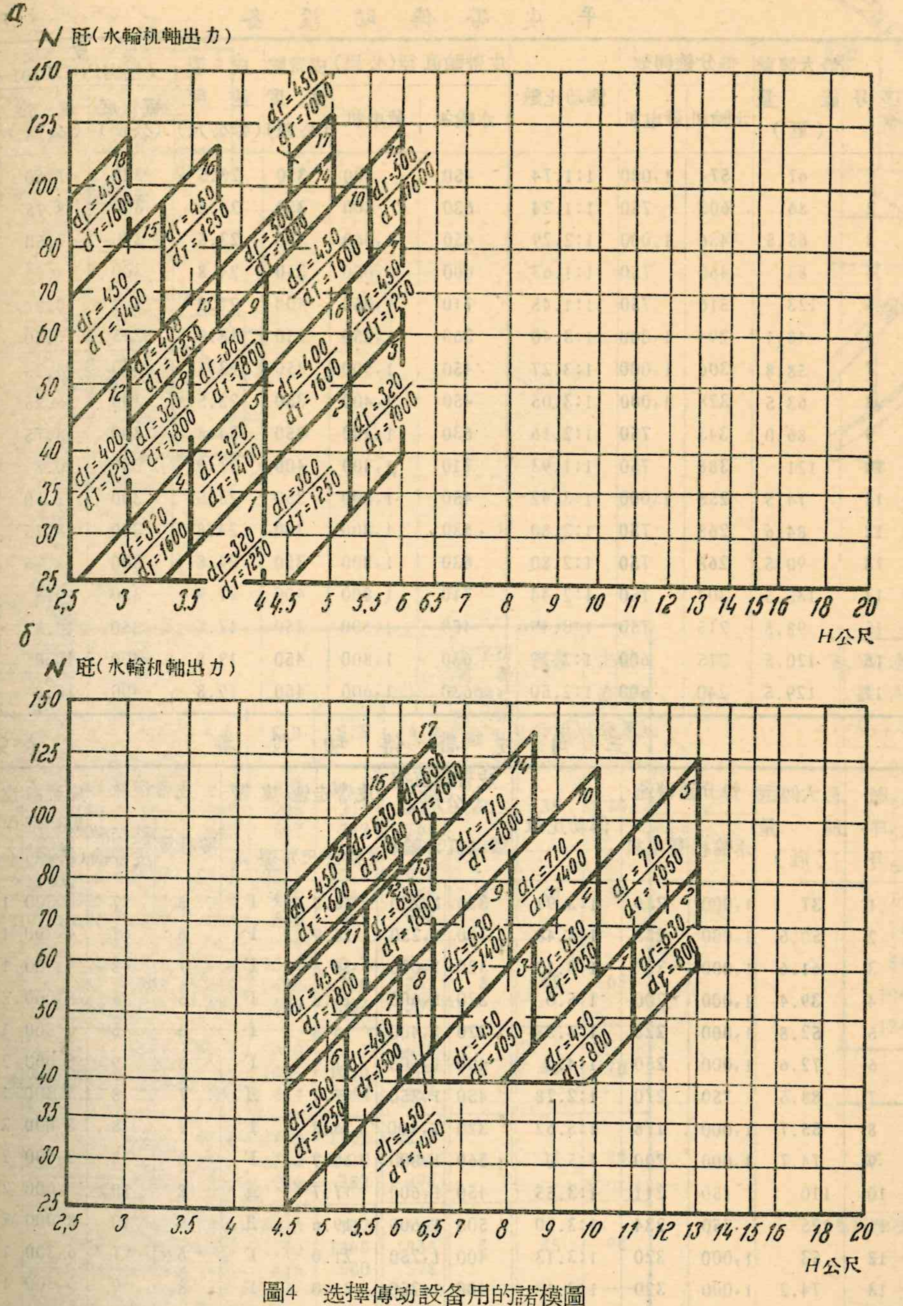


圖4 选擇傳动設备用的諾模圖

а—三角皮帶傳动設备；б—平皮帶傳动設备（分子为發电机皮帶輪直徑$d_Г$，分母为水輪机皮帶輪直徑$d_Т$）

用三角皮帶傳动設备。当傳动比数在1:2.00至1:5.62范圍内时，总共有18組三角皮帶可以采用。可采用的發电机皮帶輪只有5种直徑，它們为32、36、40、45和50公分；水輪机皮帶輪的直徑为100、125、140、160和180公分。对于諾模圖所包括的水头与容量范圍内的傳动設备，采用Г型和Д型的二种皮帶。各种三角皮帶的各部分尺寸列入表9中。

平 皮 帶 傳 动 設 备　　　　表8

序号	最大傳遞能量(瓩)	每分鐘轉數		傳动比數	皮帶輪直徑(公厘)		皮帶輪寬度(公厘)	皮帶速度(秒公尺)	橡皮皮帶(根据ГОСТ101—41)		
		水輪机	發电机		水輪机	發电机			寬度(公厘)	厚度(公厘)	層數
1	67	574	1,000	1:1.74	450	800	350	23.5	300	7.50	6
2	86	603	750	1:1.24	630	800	350	24.8	300	8.75	7
3	65.5	436	1,000	1:2.29	450	1,050	350	23.5	300	7.50	6
4	83	460	750	1:1.63	600	1,050	350	24.8	300	8.75	7
5	123	516	750	1:1.45	710	1,050	400	27.9	350	10.8	8
6	48.1	294	1,000	1:3.40	360	1,250	250	18.9	225	7.50	6
7	58.8	306	1,000	1:3.27	450	1,500	350	23.5	300	6.25	5
8	63.5	328	1,000	1:3.05	400	1,400	350	23.5	300	6.25	5
9	86.0	345	750	1:2.16	630	1,400	350	24.8	300	8.75	7
10	121	388	750	1:1.93	710	1,400	400	27.9	350	10.8	8
11	74.5	255	1,000	1:3.92	450	1,800	350	23.5	300	7.50	6
12	84.6	268	750	1:2.80	630	1,800	350	24.8	300	8.75	7
13	90.5	268	750	1:2.80	630	1,800	350	24.8	300	8.75	7
14	135.5	302	750	1:2.48	710	1,800	400	27.9	350	10.8	8
15	98.8	215	750	1:3.49	450	1,600	350	17.7	350	10.8	8
16	120.5	215	600	1:2.79	630	1,800	450	19.8	400	10.8	8
17	129.5	240	600	1:2.50	630	1,600	450	19.8	400	10.8	8

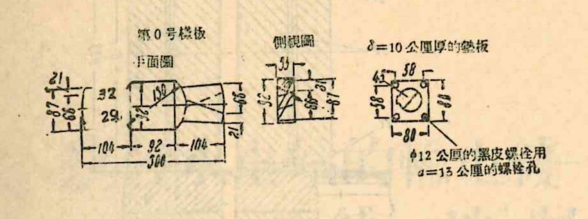
三 角 皮 帶 傳 动 設 备　　　　表9

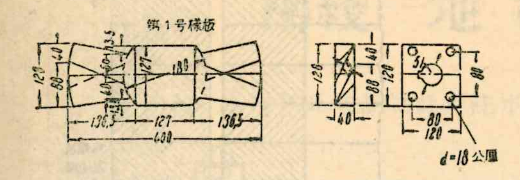
順序号	最大傳遞能量(瓩)	每分鐘轉速		傳动比數	皮帶輪直徑(公厘)		皮帶走速(秒公尺)	皮帶型式	皮帶根數		皮帶內周長度(公厘)	皮帶輪中心間距(公厘)
		水輪机	發电机		發电机	水輪机			按計算	按标准皮帶輪		
1	37	1,000	256	1:3.91	320	1,250	16.8	Г	5	7	6,300	1,890
2	50.6	1,000	288	1:3.48	360	1,250	18.9	Г	6	7	6,300	1,860
3	61.6	1,000	320	1:3.13	320	1,000	16.8	Г	7	8	4,500	1,190
4	39.4	1,000	200	1:5.0	320	1,600	16.8	Г	5	7	8,000	2,440
5	52.8	1,000	228	1:4.38	320	1,400	16.8	Г	6	6	6,300	1,740
6	72.6	1,000	250	1:4.0	400	1,600	21.0	Г	8	9	8,000	2,380
7	88.5	750	270	1:2.78	450	1,250	17.7	Д	7	8	6,300	1,810
8	55.7	1,000	178	1:5.62	320	1,800	16.8	Г	7	8	8,000	2,240
9	74.7	1,000	200	1:5.0	360	1,800	18.9	Г	8	8	8,000	2,210
10	110	750	211	1:3.55	450	1,600	17.7	Д	8	10	8,000	2,360
11	125	750	234	1:3.20	500	1,600	19.6	Д	9	10	8,000	2,320
12	53	1,000	320	1:3.13	400	1,250	21.0	Г	6	7	6,300	1,840
13	74.2	1,000	320	1:3.13	400	1,250	21.0	Г	8	9	6,300	1,840
14	114	750	375	1:2.0	500	1,000	19.6	Д	8	10	6,300	1,990
15	94.5	750	240	1:3.12	450	1,400	17.7	Г	10	10	6,300	1,660
16	117.0	750	270	1:2.78	450	1,250	17.7	Д	9	10	6,300	1,810
17	146.5	750	337	1:2.21	450	1,000	17.7	Д	10	10	6,300	2,030
18	121.2	750	210	1:3.55	450	1,600	17.7	Д	9	10	8,000	2,360

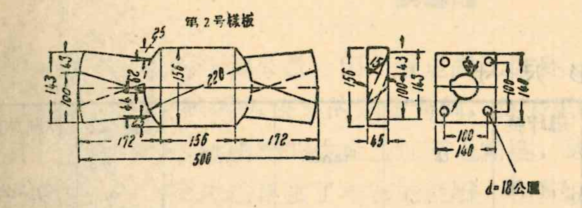
由上表顯然可見，用三角皮帶傳动的水輪机，总共用了12种标准皮帶輪，并且規定，在某种情况下，可留着一个或二个皮帶槽不用。

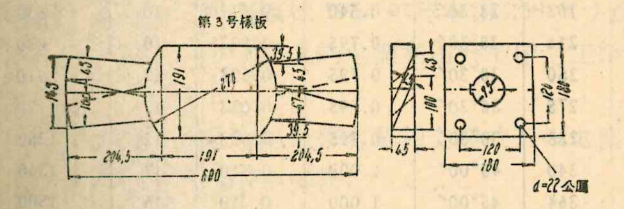
（唐仲南、鄭乃伯譯自"農村水电站的設备"63～75頁）

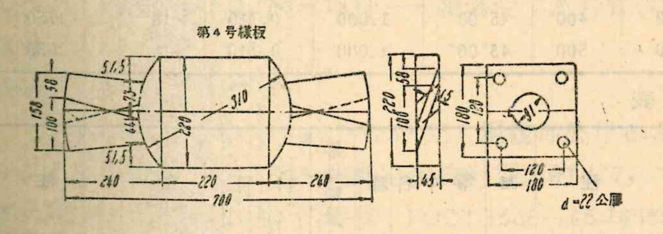
木制旋槳式水輪机动輪的标准样板

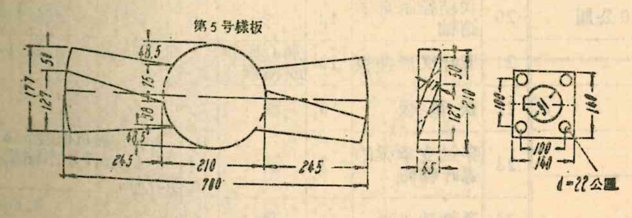


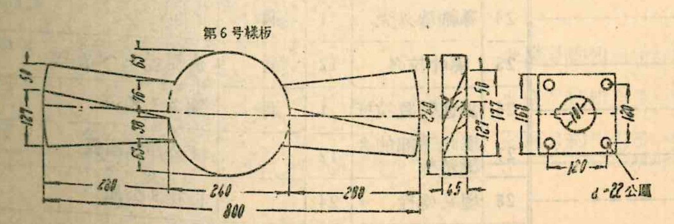








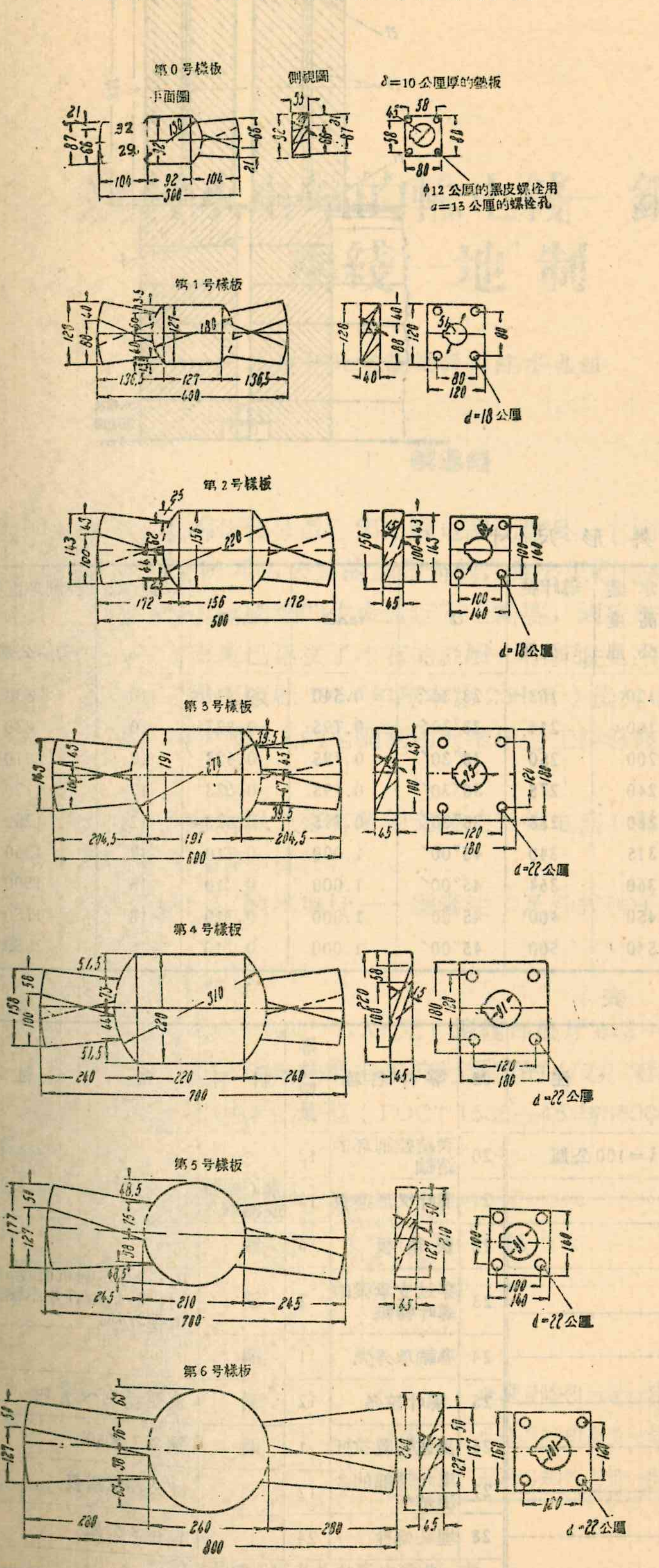


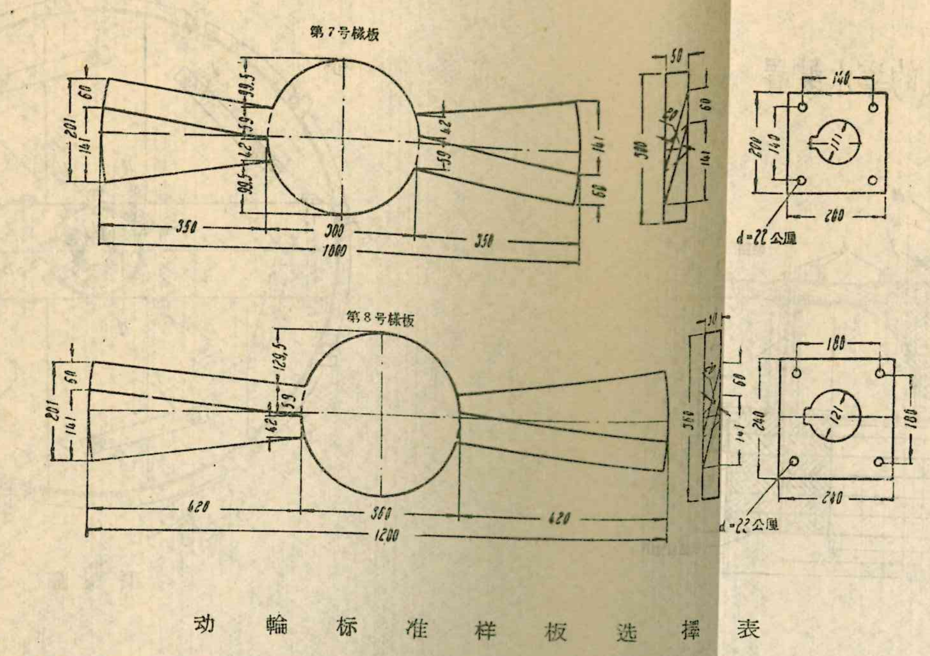


样板型号	采用这种样板的水輪机		
	直徑D(公厘)	比速 ns	m=
0 4叶	300	300	0.
1 4叶	400	400	0.
2 4叶	500	400	0.
3 4叶	600	400	0,
4 4叶	700	400	0,
5 2叶	700	600	0.
6 2叶	800	600	0.
7 2叶	1000	600	0.
8 2叶	1200	600	0.

附注：1.在余苏水利技術与土
2.旧表中所包括的水头
3 由于極限水头加大了

木制旋槳式水輪机动輪的标准样板





动輪标准样板选擇表

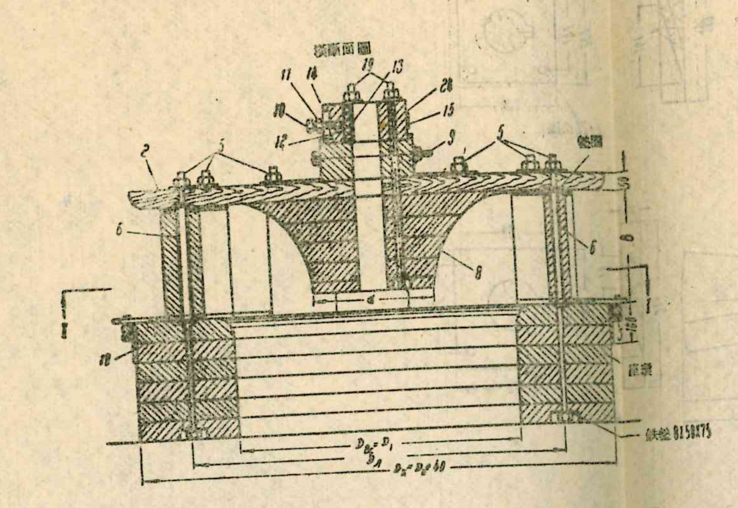
样板型号	采用这种样板的水輪机参數			水輪机設計出力 設計流量 主軸轉數	水头 H，公尺															十字拼塊數（輪叶拼塊數）	板厚（公厘）	主軸直徑（公厘）
	直徑D（公厘）	比速 ns	$m=\frac{d}{D}$		1.5	1.75	2.0	2.25	2.5	2.75	3.0	3.25	3.5	3.75	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0			
0 4叶	300	300	0.447	N，馬力 Q，公升/秒 n，轉/分鐘	1.69 113 382	2.13 123 412	2.60 130 441	3.10 138 468	3.65 146 495	4.21 153 519	4.80 160 541	5.40 166 564	6.05 172 585	6.71 179 601	7.36 184 624	8.8 195 660	10.3 206 697	11.8 216 732	13.6 225 765	3	35	45
1 4叶	400	400	0.447	N Q n	3.66 244 348	4.62 264 376	5.64 282 402	6.75 299 426	7.90 315 450	9.06 330 471	10.4 345 492	11.7 359 512	13.0 372 532	14.5 386 551	15.9 398 567	19.1 423 602	22.4 445 636	25.9 466 665	29.4 488 695	3	40	50
2 4叶	500	400	0.447	N Q n	5.70 381 278	7.20 415 301	8.80 438 320	10.5 467 342	12.4 494 360	14.2 516 377	16.2 539 394	18.2 560 410	20.4 582 425	22.6 602 440	24.9 622 455	29.8 660 484	35.1 696 509	40.2 730 534	45.8 762 557	3	45	65
3 4叶	600	400	0.447	N Q n	8.25 548 232	10.4 592 250	12.7 633 268	15.1 671 284	17.7 709 300	20.4 743 314	23.3 776 328	26.2 807 342	29.4 839 354	32.5 867 367	35.8 896 379	42.7 950 402	50.0 1005 424	57.7 1050 444	66.0 1100 464	4	45	70
4 4叶	700	400	0.447	N Q n	11.0 747 198	13.9 808 215	17.3 864 230	20.6 916 244	24.1 966 257	27.8 1011 269	31.7 1058 282	35.8 1100 293	39.9 1140 304	44.3 1181 315	48.0 1220 325	57.0 1295 345	67.2 1370 346	77.2 1430 382	88.2 1496 398	4	45	90
5 2叶	700	600	0.300	N Q n	14.4 968 262	18.2 1047 280	22.4 1120 300	26.7 1190 320	31.2 1250 337	36.0 1315 354	41.0 1370 370	46.4 1430 382	51.7 1480 398	57.3 1533 414	63.3 1585 427	73.5 1685 452	88.3 1770 476	102 1860 500	116 1938 528	5	45	90
6 2叶	800	600	0.300	N Q n	18.8 1265 228	23.8 1364 245	29.0 1460 262	34.8 1550 278	40.7 1640 293	47.0 1720 308	53.5 1790 322	60.4 1860 334	67.5 1930 346	74.0 2000 360	82.5 2060 370	98.6 2165 393	116.0 2310 415	133 2430 435	150 2530 455	5—6	45	100
7 2叶	1000	600	0.300	N Q n	29.7 1980 181	37.5 2140 196	45.8 2285 209	54.7 2430 222	63.8 2560 234	73.8 2680 245	81.0 2800 256	95.4 2920 266	106.0 3025 277	117.3 3130 286	129.5 3230 296	155.0 3430 314	— — —	— — —	— — —	6	50	110
8 2叶	1200	600	0.300	N Q n	42.9 2860 152	54.0 3090 160	66.0 3300 175	78.7 3500 185	92.5 3690 196	107.1 3870 204	121.5 4050 215	137.6 4200 223	153 4380 233	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	7	50	120

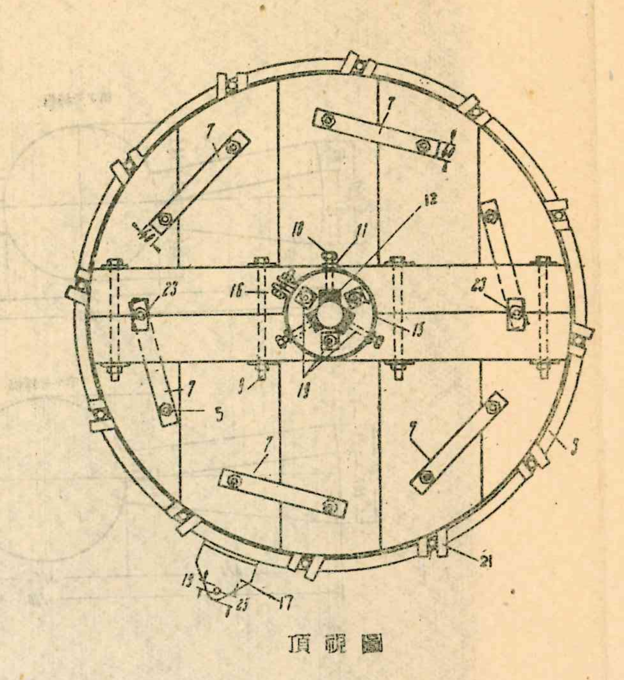
附注：1.在全苏水利技術与土壤改良科学研究所(ВНИИГиМ)的标准設計中又增补了三种新的型号(№0,7及8)，以前的标准样板型号(№1～6)仍維持原狀，未加变動。

2.旧表中所包括的水头范圍也加以擴大，本表中所包括的水头，自1.5至6.0公尺。

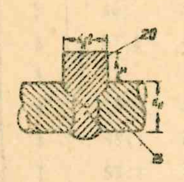
3 由于極限水头加大了，所以标准設計中各种型号的主軸直徑也加大了。

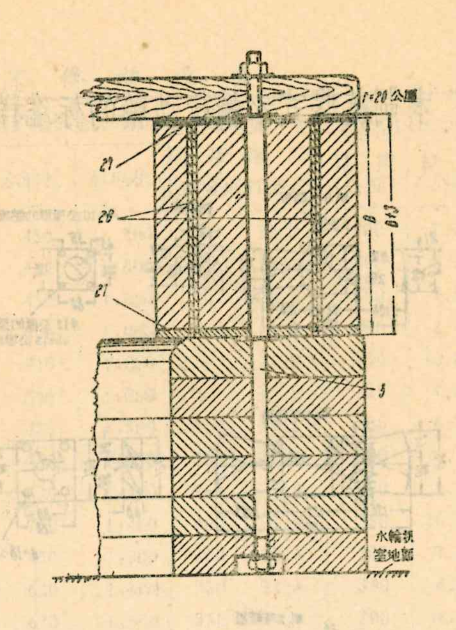
木制旋槳式水輪机的導水裝置



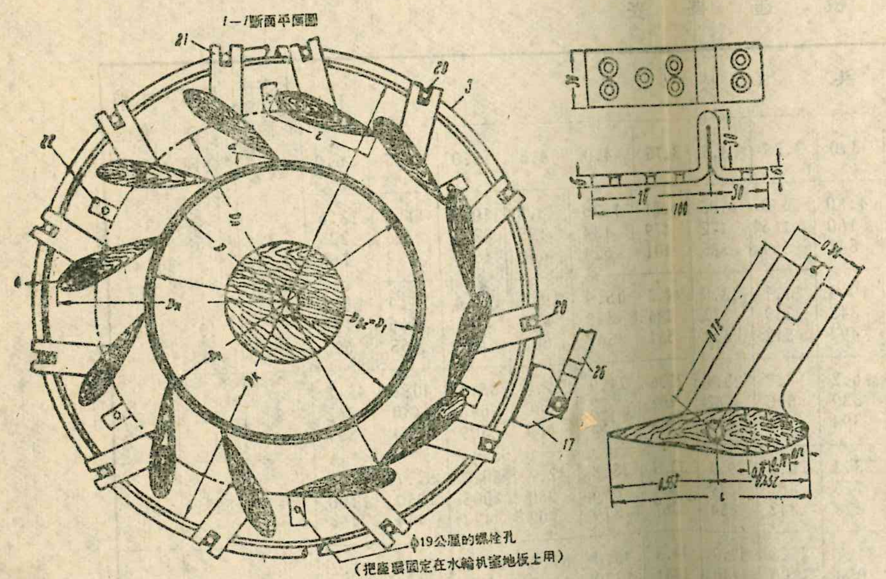


頂視圖

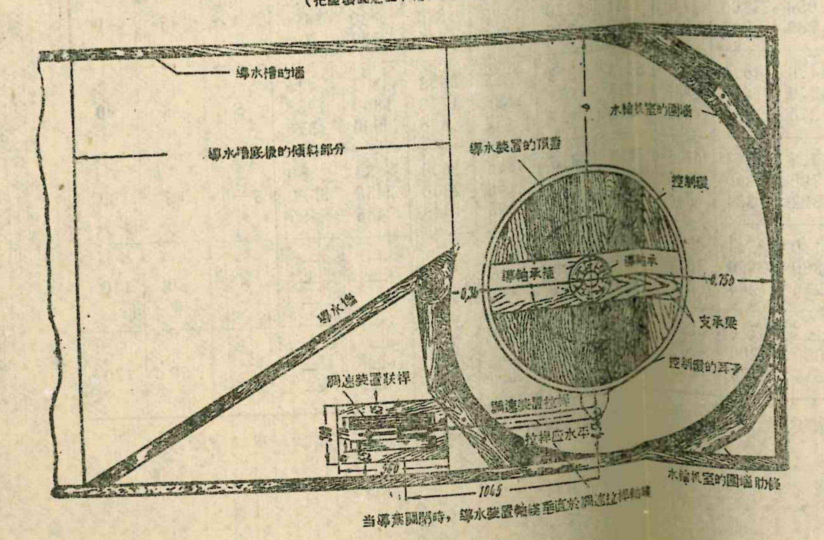




1—I断面平面圖



φ19公厘的螺栓孔
（把座環固定在水輪机室地板上用）



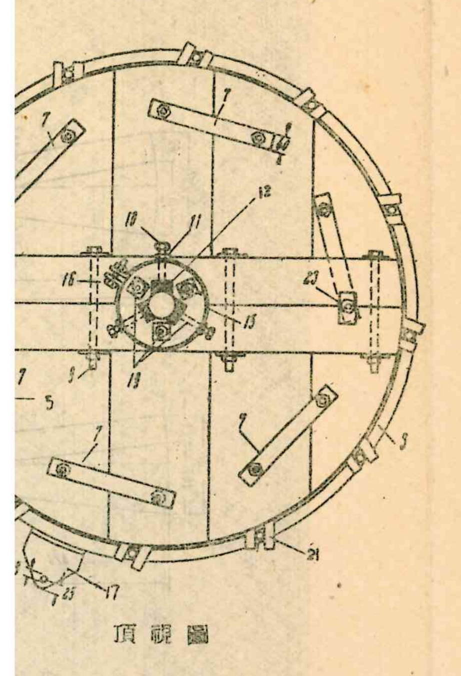
構造簡化的導水裝置外形尺寸

水輪机型号	比速 ns	动輪直徑 D，公厘	吸出管進水口直徑 D_{bo} 公厘	輪轂直徑 d，公厘	導水裝置內徑 D_b，公厘	導水裝置外徑 D_H，公厘	導叶軸心所在圓周直徑 $D_л$，公厘	頂蓋及座环直徑 D_K，公厘	導水裝置高度 B_1，公厘	導叶長 l，公厘	α	$\tan\alpha$	$\sin\alpha$	導叶數 Z_o	控制环直徑 D'_K，公厘
0	300	300	305	120	340	580	455	620	120	163	28°30′	0.540	0.477	10	630
1	400	400	405	180	440	780	610	820	160	214	38°30′	0.795	0.823	10	830
2	400	500	505	220	540	920	743	960	200	250	38°30′	0.795	0.623	12	970
3	400	600	610	270	640	1070	862	1110	240	275	38°30′	0.795	0.623	12	1120
4	400	700	710	310	740	1200	966	1240	280	288	38°30′	0.795	0.623	12	1250
5	600	700	710	210	740	1310	1040	1350	315	340	45°00′	1.000	0.710	12	1360
6	600	800	810	240	840	1450	1160	1490	360	364	45°00′	1.000	0.710	16	1500
7	600	1000	1010	300	1040	1700	1380	1740	450	400	45°00′	1.000	0.710	18	1750
8	600	1200	1210	360	1240	2000	1680	2040	540	500	45°00′	1.000	0.710	18	2050

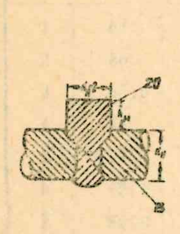
零件表

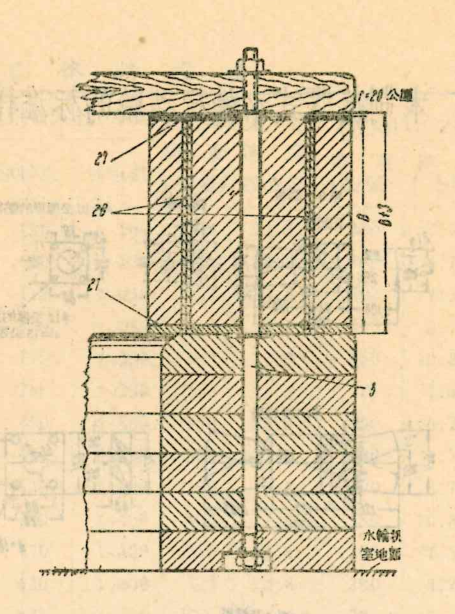
№	零件名称	零件數量	材料	备注
1	座环	1	木	由兩層單塊的圓弧形板疊叠組成
2	導水裝置頂蓋	1	木	
3	導水裝置控制环	1	圓鋼	0,1,2号水輪机圓鋼直徑19公厘；3,4,5,6,7号水輪机圓鋼直徑25公厘
4	導叶	12	木(橡木)	
5	導叶轉軸(鏇制)	10	苏联6号鋼	0,1,2号水輪机直徑5/8吋；3,4,5,6,7号水輪机直徑3/4吋
6	導叶軸套	12	鋼管	由徑3/4吋和$\frac{1}{8}$吋水管制成
7	固定導叶軸的鉄板条	6	40×8帶鋼	
8	轂心	1	木(橡木)	由許多層木板沿高度釘在一起組成
9	連接兩半塊支承梁的螺栓	4	鋼	
10	導軸承調節螺栓	3	鋼	5/8吋，l＝100公厘
11	調節螺栓的鎖母	3	鋼	5/8吋
12	導軸承的軸瓦	3	夾布膠木	
13	調節螺栓頂板	3	鋼	
14	調節螺栓固定螺母	3	鋼	
15	夾箍	1	帶鋼	
16	夾箍拉緊螺栓	1	鋼	
17	連接控制环与拉杆的耳子	1	鍋爐鋼	
18	控制环的支座	6	鋼条(鍛造)	
19	固定轂心于頂蓋的螺栓	3		
20	联結控制环的銷軸	12		
21	導叶叉形連板	12	鋼（鍛鋼或鑄鋼）	
22	鉄垫板	6	鋼	
23	穿过支承梁的導叶轉軸	2	鋼	0,1,2号水輪机直徑5/8吋；3,4,5,6,7号水輪机直徑3/4吋
24	導軸承外壳	1	鋼	
25	導叶拉条	12	鋼	直徑$\frac{5}{16}$吋～$\frac{3}{8}$吋
26	調速裝置拉杆	1	鋼	鋼条7×50
27	導叶頂部的金屬垫板	12		4公厘厚鋼板
28	埋头螺栓	24		直徑8公厘

注：此例中導叶及其附件數量均為12



頂視圖





構造簡化的導水裝置外形尺寸

輪直徑 …,公厘	吸出管進水口直徑 D_{bc} 公厘	輪轂直徑 d,公厘	導水裝置內徑 D_b,公厘	導水裝置外徑 D_H,公厘	導叶軸心所在圓周直徑 $D_л$,公厘	頂蓋及座环直徑 D_K,公厘	導水裝置高度 B_1,公厘	導叶長 l,公厘	α	$\tan\alpha$	$\sin\alpha$	導叶數 Z_o	控制环直徑 D_K',公厘
300	305	120	340	580	455	620	120	163	28°30′	0.540	0.477	10	630
400	405	180	440	780	610	820	160	214	38°30′	0.795	0.823	10	830
500	505	220	540	920	743	960	200	250	38°30′	0.795	0.623	12	970
600	610	270	640	1070	862	1110	240	275	38°30′	0.795	0.623	12	1120
700	710	310	740	1200	966	1240	280	288	38°30′	0.795	0.623	12	1250
700	710	210	740	1310	1040	1350	315	340	45°00′	1.000	0.710	12	1360
800	810	240	840	1450	1160	1490	360	364	45°00′	1.000	0.710	16	1500
1000	1010	300	1040	1700	1380	1740	450	400	45°00′	1.000	0.710	18	1750
1200	1210	360	1240	2000	1680	2040	540	500	45°00′	1.000	0.710	18	2050

零件表

零件數量	材料	备注
1	木	由兩層單塊的圓弧形板重疊組成
1	木	
1	圓鋼	0,1,2号水輪机圓鋼直徑19公厘；3,4,5,6,7号水輪机圓鋼直徑25公厘
2	木(橡木)	
0	苏联6号鋼	0,1,2号水輪机直徑5/8吋；3,4,5,6,7号水輪机直徑3/4吋
2	鋼管	由徑3/4吋和$\frac{1}{8}$吋水管制成
6	40×8帶鋼	
1	木(橡木)	由許多層木板沿高度釘在一起組成
4	鋼	

№	零件名称	零件數量	材料	备注
10	導軸承調節螺栓	3	鋼	5/8吋,l=100公厘
11	調節螺栓的鎖母	3	鋼	5/8吋
12	導軸承的軸瓦	3	夾布膠木	
13	調節螺栓頂板	3	鋼	
14	調節螺栓固定螺母	3	鋼	
15	夾箍	1	帶鋼	
16	夾箍拉緊螺栓	1	鋼	
17	連接控制环与拉杆的耳子	1	鍋爐鋼	
18	控制环的支座	6	鋼条(鍛造)	
19	固定轂心于頂蓋的螺栓	3		

№	零件名称	零件數量	材料	备注
20	联結控制环的銷軸	12		
21	導叶叉形連板	12	鋼(鍛鋼或鑄鋼)	
22	鉄垫板	6	鋼	
23	穿过支承梁的導叶轉軸	2	鋼	0,1,2号水輪机直徑5/8吋；3,4,5,6,7号水輪机直徑3/4吋
24	導軸承外壳	1	鋼	
25	導叶拉条	12	鋼	直徑$\frac{5}{16}$吋～$\frac{3}{8}$吋
26	調速裝置拉杆	1	鋼	鋼条7×50
27	導叶頂部的金屬垫板	12		4公厘厚鋼板
28	埋头螺栓	24		直徑8公厘

注：此例中導叶及其附件數量均為12

七、農村水电站的輸电綫——鋼導綫和"兩綫—地"制

水利部北京勘測設計院水电組

I　鋼導綫

農村的用电戶一般都比較分散，因此輸电綫比較長，它的投資占水电站总投資的比例很大（若以截面为16平方公厘的銅綫为例，每公里輸电綫僅銅綫本身的价格即达2,830元）。此外目前我國銅的生產量赶不上需要，國家曾提出節約用銅的号召。

苏联的農村电气化事業已累積了丰富的經驗，在苏联电站部編訂的电气設备安裝規程中規定（見燃料工業出版社1954年譯本第238頁）農村电網应采用以下的措施：

（一）电压在1,000伏以上的电網利用大地作为工作導綫，例如"兩綫——地"制电網；

（二）电压在1,000伏以上帶有單相支綫的三相电網（混合配电制）；

（三）利用鋼鉄作为導体材料；

（四）使用單体电柱（独木电杆——編者注）及針式碍子（有时还用于35仟伏送电綫路）。

鋼導綫有以下几个特点：

（一）价格低，每公斤1.24～1.39元（銅綫每公斤6.3～8.0元）。

（二）導电率低，对直流电的導电率約为銅綫的1/7，对交流电的电阻抗随电流密度加大而急增。根据苏联國定規范（ГОСТ 1668—46与5800—51），單股鋼導綫的技術数据如下：

綫号	導綫計算直徑（公厘）	每1000公尺導綫重（公斤）	每公里直流电阻（歐）	每公里交流电阻抗的最大值Z（歐）	編注
Жф 3	3.0	53.5	19.52	28.6	
Жф3.5	3.5	75.5	14.30	——	
Жф 4	4.0	99.0	10.96	19.2	此綫号約相当于一般的8号鉛絲
Жф 5	5.0	154.0	7.04	14.8	此綫号約相当于一般的6号鉛絲
Жф 6	6.0	222.0	4.88	13.0	此綫号約相当于一般的4号鉛絲

根据以上資料計算可得以下概念，即采用 380/220 伏四根 ЖФ4（即 8 号 鋼 綫）輸电，若允許电压降落不超过 10%，则只能把 5.4 瓩的电能送 100 公尺远。

（三）鉄導綫的电阻与其化学成分（含碳量）及加工方法有很大关系。

一九五五年六月，水利部組織的各省水利部門的代表参观了遼寧省桓仁縣雅河口电站以后，我們根据領導指示，即在雅河口电站做了鉄導綫的試驗，目的是为了檢查目前桓仁縣存有的鉄導綫是否可作为高压电綫用。

試驗所用的鉄導綫是桓仁縣的 8 号旧电話綫（ЖФ4），由于導綫外緣無鉛層（非鍍鉛鉄導綫），堆在露天日久，表面已生銹，凹凸不平，粗細不勻，化学成分与加工方法也不清楚。

試驗結果証明（見圖 1 曲綫）：

（一）直流电阻 R_q 各次測得值不等，最大的达每 公 里 14.11 歐，最 小 为 8.9[illegible]歐。但根据总的趋势看來（除去最大和最小兩点），数值是趋于平穩的，取各次的平均值，大約可得 $R_q=12$ 歐，这个值比苏联 ЖФ4 的 R_q 值（10.96）約大 9%，其原因可能为試驗所用導綫的断面大小不勻、表面生銹、化学成分及加工方法等影响所致。

（二）交流电阻 R_w，电阻抗 Z 的測值很不規則，特別当負荷电流在 7.5 安 以下更为突出，其原因可能为輸电綫兩端讀数不是正在同时進行的，而水負荷的电阻值在負荷小时变化極为迅速，因此結果讀差很大，不过取其中电流为 11 安的一点与 苏联的資料相比，仍很相似，比較結果如下：

	每公里交流有效电阻 R_w（歐）	每公里總阻抗 Z（歐）	附注
苏联試用值	18.5	19.2	見"農村水电站"中譯本269、270頁曲綫
此次試驗値	13.0	19.7	

（三）根据上述比較，可以得到一个初步結論，即目前虽然我國尙沒有專門为農村制造的鋼導綫，已有的鋼導綫又缺乏技術資料，但仍然可以利用已有的鋼綫（或电話綫）作輸电導綫用，在設計中选擇導綫时大致可按苏联的数据進行，其誤差范圍估計不会太大。

当然这种情况是暫时的，將來还是要由制造部門爭取供应粗細均勻、性能固定、表面上鍍有鉛層（鍍鉛）的鋼導綫。

（四）使用鋼導綫时，要特別注意綫头的連接以及分支綫与干綫的連接。最好能使用电話綫接綫用的或鋼心鉛綫接綫用的接綫头，以免在接头处生銹以致導綫的电阻增加，并在接头处發生高温或断綫等事故。

Ⅱ 鋼導綫計算

（一）鋼導綫查圖計算的步驟如下：

1. 用下式求出电網各段允許电压損失值：

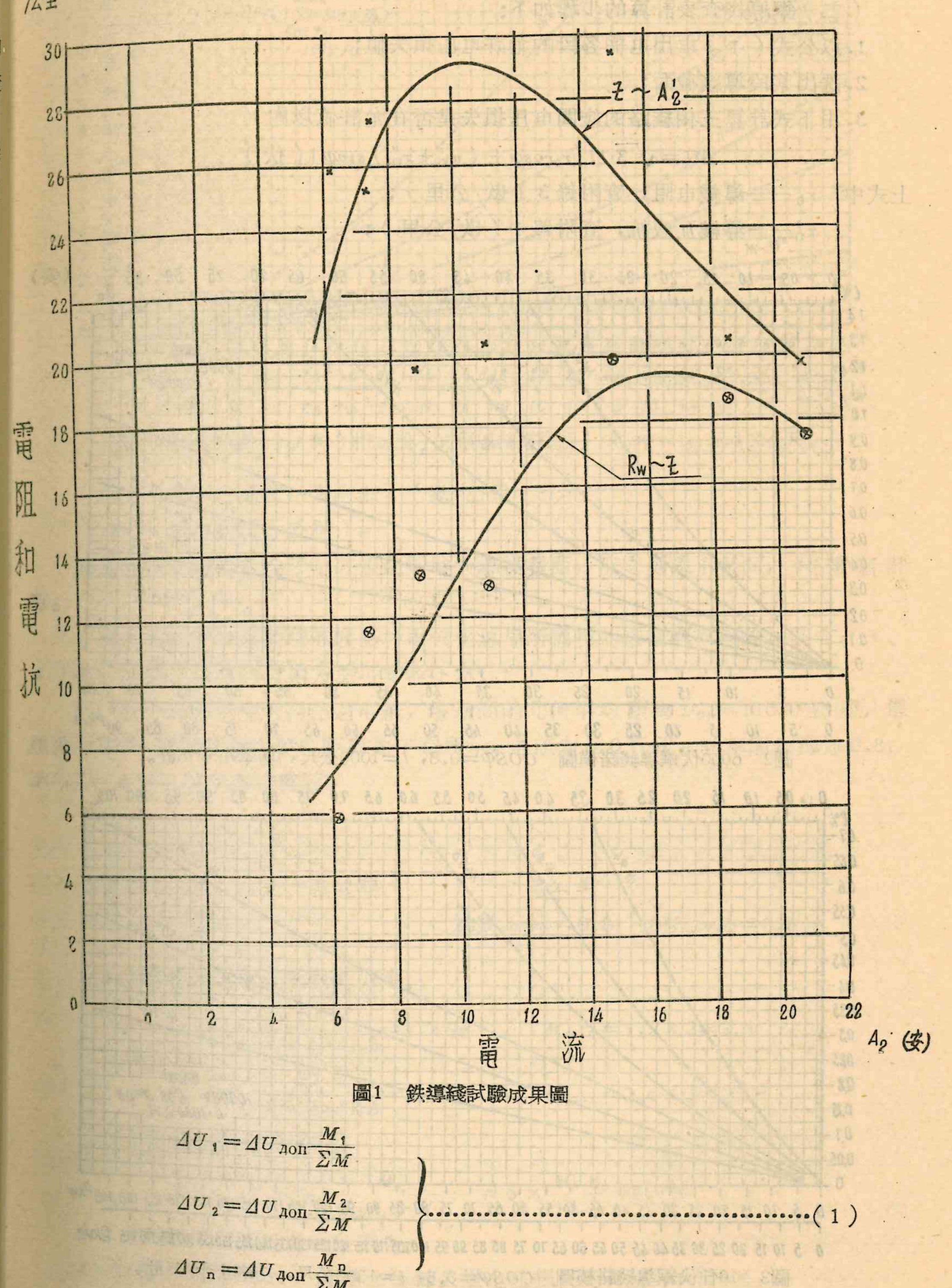


圖1 鉄導綫試驗成果圖

$$\left.\begin{aligned}\Delta U_1&=\Delta U_{доп}\frac{M_1}{\Sigma M}\\ \Delta U_2&=\Delta U_{доп}\frac{M_2}{\Sigma M}\\ \Delta U_n&=\Delta U_{доп}\frac{M_n}{\Sigma M}\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

上式中 $M_1=I_1l_1$； $M_2=I_2l_2$； $M_n=I_nl_n$。

2.知道某段輸送容量后，按已知电压損失在下列諾模圖中查出導綫所需的截面。

（二）鋼導綫查表計算的步驟如下：

1.以公式（1）求出电網各段的允許电压損失值；

2.选出某段導綫截面；

3.用下式計算三相綫路的綫間电压損失是否在允許值以內

$$\Delta U=\sqrt{3}\,Il\,[r_0\cos\varphi+(x_0'+x_0'')\sin\varphi]\ (\text{伏})$$

上式中 r_0——導綫电阻，查附錄3（欧/公里）；

x_0'——導綫互感抗，查附錄1（欧/公里）；

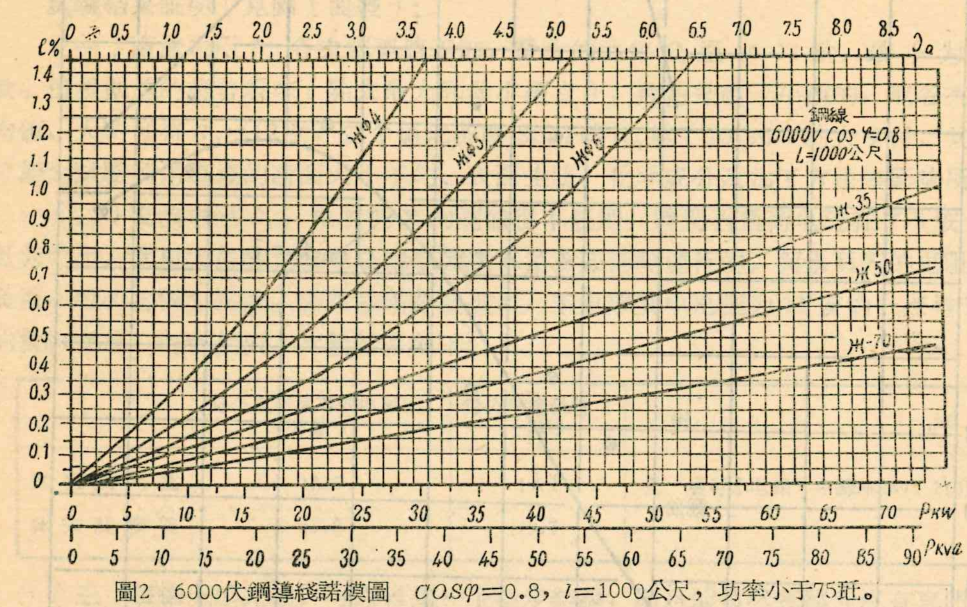


圖2 6000伏鋼導綫諾模圖 $COS\varphi=0.8$，$l=1000$公尺，功率小于75瓩。

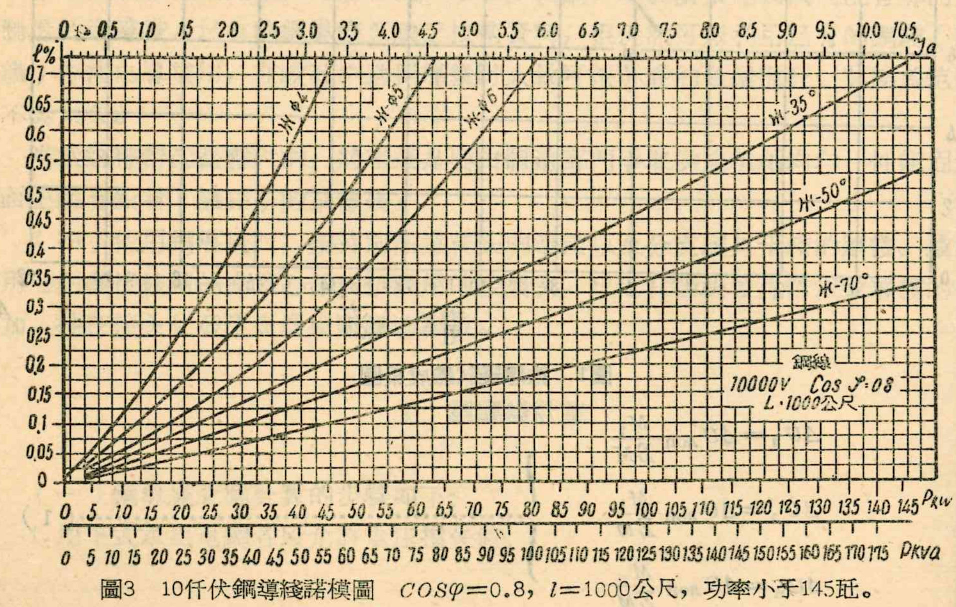


圖3 10仟伏鋼導綫諾模圖 $COS\varphi=0.8$，$l=1000$公尺，功率小于145瓩。

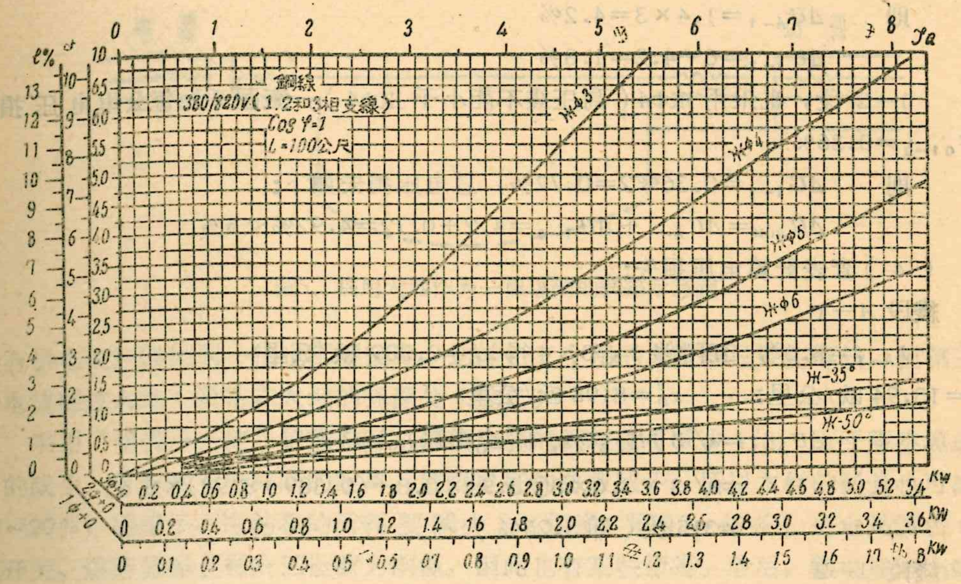


圖4 380/220伏（1,2和3相支綫）的鋼導綫諾模圖 $COS\varphi=1$，$l=100$公尺。

x_0''——導綫自感抗，查附錄4（欧/公里）；

l——導綫長度（公里）。

如果計算所得的值大于允許值，則增大導綫截面，反之則減小截面，并重新計算。

（三）另外仍可以利用苏联農村电气化总局所編制的諾模圖（摘錄如圖2、3、4）進行計算，該圖的使用方法可参考下例：

例：有一三相平衡的高压送电綫，導綫間的几何平均距离 $D_{cp}=1{,}000$ 公厘，導綫截面相同，它的負荷与送电距离如下圖所示，电压为6.0仟伏，功率因数都为0.8，$\Delta U_{доп}=6\%$，試求導綫截面。

A 0 —— 3公里 —— 1 —— 2公里 —— 2

1: 20瓩，$\cos\varphi=0.8$； 2: 10瓩，$\cos\varphi=0.8$。

（1）求各段的电流及負荷力矩：

$I_{1-2}=\dfrac{10}{\sqrt{3}\times6\times0.8}=1.2$安　　$M_{1-2}=1.2\times2=2.4$

$I_{A-1}=\dfrac{30}{\sqrt{3}\times6\times0.8}=3.6$安　　$M_{A-1}=3.6\times3=10.8$

（2）各段允許电压損失：

$$\Delta U_{A-1}=\Delta U_{доп}\frac{M_{A-1}}{M_{A-1}+M_{1-2}}=6\times\frac{10.8}{13.2}=4.9\%$$

（3）利用諾模圖計算电压損失：

A—1段，采用ЖΦ4，查圖2得每公里电压損失为 $U_{0A-1}=1.4\%$

则　$\Delta U_{A-1}=1.4\times 3=4.2\%$

$\Delta U_{1-2}=6-4.2=1.8\%$

1—2 段，也采用 ЖФ4（高压綫不能小于 ЖФ4），查圖 2 知每公里电压損失 $\Delta U_{01-2}=0.36\%$

则　$\Delta U_{1-2}=0.36\times 2=0.72\%$，总电压損失如下：

$$\Delta U_{Доп}=\Delta U_{A-1}+\Delta U_{1-2}=4.2+0.72=4.92\%<6\%$$

（4）查表計算电压損失：

綫段 A—1

$I_{A-1}=3.6^{\alpha}$，查附錄 1，3，4 得 $x_0'=0.389$ 欧/公里；$r_0=13.94$ 欧/公里；　$x_0''=8.98$ 欧/公里

$$\Delta U_{A-1}=\sqrt{3}\,Il[r_0\cos\varphi+(x_0'+x_0'')\sin\varphi]$$

$$=\sqrt{3}\times 3.6\times 3[13.94\times 0.8+(0.389+8.98)\times 0.6]$$

$$=315\text{ 伏（即 }5.25\%\text{）}$$

綫段 1—2

$r_0=12$ 欧/公里；　$x_0'=0.389$ 欧/公里；　$x_0''=2.05$ 欧/公里。

$$\Delta U_{1-2}=\sqrt{3}\times 1.2\times 2[12\times 0.8+(0.389+2.05)\times 0.6]$$

$$=46\text{ 伏（即 }0.77\%\text{）}$$

总电压損失为　$\Delta U_{Доп}=5.25\%+0.77\%=6.02\%\doteq 6\%$

計算时要注意：

1.查諾模圖計算的优点是方法簡單迅速，但在綫路負荷的功率因数与諾模圖所示的功率因数不同而有誤差；此外还需要有一套比較完整的諾模圖（如"農村水电站"一書 288—295 頁）。

2.查表計算較准确，但花的时間要多，所以以用此法校核第一法計算的結果較宜。

3.目前本國尙無鋼導綫出產，暫以普通的鍍鋅鉄綫代替，所以在計算电压損失和机械应力时要加以適当的修正。

4.輸电綫路电压在導綫截面合乎机械应力要求时，最好选用 10 仟伏，因 10 仟伏的电气設备与 6 仟伏的电气設备，价格差不多，而前者的導綫材料消耗或电能損失要比后者小 3 倍（但只能在保証供应变压比为 10/0.4/0.23 仟伏的变压器时，才可选用 10 仟伏）。

5.当二法計算的結果差别很大时，一般以查諾模圖法所得数值作適当修正决定。

Ⅲ　"兩綫——地"制輸电綫

（一）总　则

在農村高压电力綫路中，为了减少導綫金屬的消耗，可以用大地作为一根導綫。圖 5 为利用大地作为一根導綫的三相制的示意圖，这种所謂"兩綫——地"制（ДПЗ）在苏联農村电網中很流行。

由圖 5 可以看出，"兩綫——地"制內，供电变压器的一相与大地联接（接地），

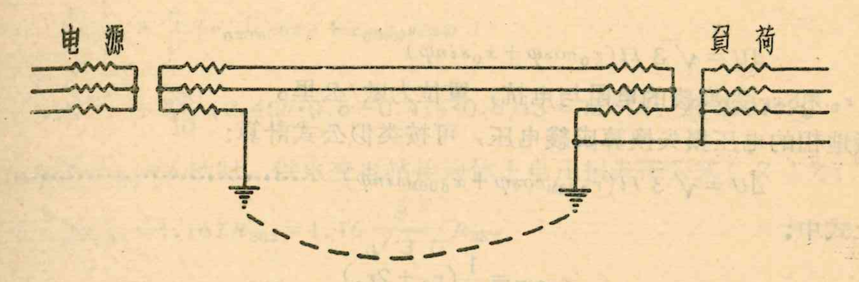


圖5　利用大地作为一根導綫的網絡示意圖

所有供电变压器的同一相也都要接地，这样，二个相的电流經过架空導綫，但第三相的电流經过大地（通常在大地的極深处）送走。

采用"兩綫——地"制輸电时，導綫金屬的消耗量可减少 1/3，由于架空導綫数目的减少，可以加大电杆間的距离，使得电杆的总数减少，所以木材的耗量也可减少 10～20%，絕緣子、弯鈎等的消耗要减少 1/3 还多，即 40～45%。变电站設备（隔离开关、熔断器等）都由三極改为兩極，因此也有某些節省。最后，輸电綫路上的功率損失可减少 25～30%。

所述优点如此顯明，以至現在建議除去下面要述說的特殊情况以外，一切農村电網都应該采用"兩綫——地"制。

在苏联廣泛地利用大地作为導綫是 П.С.奧萊希金斯基、А.Г.薩哈林、П.Е.艾宾、Ш.М.阿魯克尔等苏联电气技術人員進行了巨大的科学研究和試驗工作的結果。

中性点不接地的电網中，在正常情况下，每一導綫与大地間的电压等于相电压，当其中一根導綫發生接地短路时，其余二根導綫的对地电压升高到相电压的 $\sqrt{3}$ 倍，也就是达到綫电压值，旣然按現行規程，在發生單相接地短路时，电厂可以继續工作达兩小时，因此电厂的絕緣应以綫电压設計。

对"兩綫——地"制，單相接地是正常的情况，且架空二導綫对地的电压始終等于綫电压。

由以上所述，顯然綫路及变电站設备等的絕緣不会發生破損，因为絕緣是以綫电压設計的。

旋轉电机、發电机和高压电动机的絕緣是例外情况，因为旋轉电机的絕緣不能經常承受綫电压。因此，如果高压發电机直接与架空綫連接（中間無变压器），则不能用"兩綫——地"制，如果有大型高压电动机在網絡上工作时，同样也不能采用"兩綫——地"制。但必須說明，上述二种情况在農村中很少見。

用大地作導綫的系統中可以有二种或二种以上的电压。例如同时可有 35 仟伏和 10 仟伏二种电压存在。

在混合配电制內，單相支路上也能利用大地作为一根導綫，在这种情况下，支路只架設一根導綫。

（二）电压損失計算

"兩綫——地"制的三相綫路中架空導綫上的电压損失，可根据普通公式計算如下：

$$\Delta U=\sqrt{3}\,Il(r_0\cos\varphi+x_0\sin\varphi)$$

式中 r_0 和 x_0 为導綫的电阻与电抗，單位为欧/公里。

接地相的电压損失換算成綫电压，可按类似公式計算：

$$\Delta U=\sqrt{3}\,Il(r_{0\text{зем}}\cos\varphi+x_{0\text{зем}}\sin\varphi) \quad \cdots\cdots(1)$$

上式中：

$$r_{0\text{зем}}=\frac{1}{3}(r_0+2r_{\text{э}})$$

$r_{\text{э}}$ 为大地的有效电阻；可采用 $r_{\text{э}}=0.05$ 欧/公里；

$$x_{0\text{зем}}=\frac{1}{3}(x_0+2x_{\text{э}})$$

$x_{\text{э}}$ 为大地电抗，对于普通土壤 $x_{\text{э}}=0.36\sim0.50$ 欧/公里，可取其平均値为

$$x_{\text{э}}=0.43 \text{ 欧/公里}$$

換算为綫电压的接地体上的电压損失，其値不大，可忽略不計。遇必須計算时，則可按下式計算：

$$\Delta U_{\text{заз}}=\sqrt{3}\,I\frac{2}{3}R_{\text{заз}}=1.16IR_{\text{заз}} \quad \cdots\cdots(2)$$

式中 $R_{\text{заз}}$ 为接地电阻（欧）；

I 为流过接地体的負荷电流（安）。

在極大多数的情况中，接地相的电压損失較架空兩相的电压損失为小，因此綫路終端的电压彼此之間，將有一些不平衡，但当綫路允許电压損失在10%以下时，电压不平衡程度不超过1～2%，因而是完全允許的。

所以"兩綫——地"制綫路的电压損失計算与不用"兩綫——地"制的普通綫路相同，并且不需要計算接地相上的电压損失。

例題：有一"兩綫——地"制綫路，綫路長 $l=13$ 公里，电压 $U=10$ 仟伏，輸送功率 $S=260$ 仟伏安，$\cos\varphi=0.8$，采用鋁導綫，鋁綫牌号为 A—25，試求电压損失。

查附錄1，綫間距离 $D_{CP}=1,000$ 公厘，$x_0=0.377$ 欧/公里，按附錄2，$r_0=1.27$ 欧/公里。

架空導綫的电压損失

$$U_{\text{возд}}=\frac{S}{U}(r_0\cos\varphi+x_0\sin\varphi)l$$

$$=\frac{260}{10}(1.27\cdot0.8+0.377\cdot0.6)13=435 \text{ 伏}$$

$$\Delta U_{\text{возд}}\%=4.35\%$$

当 $r_0=0.05$ 欧/公里时，每公里大地導綫的有效电阻为：

$$r_{0\text{зем}}=\frac{1}{3}(r_0+2r_{\text{э}})=\frac{1}{3}(1.27+2\cdot0.05)=0.456 \text{ 欧/公里}$$

当 $x_{\text{э}}=0.43$ 欧/公里时，每公里大地導綫的电抗为：

$$x_{0\text{зем}}=\frac{1}{3}(x_0+2x_{\text{э}})=\frac{1}{3}(0.377+2\cdot0.43)=0.414 \text{ 欧/公里}$$

接地相的电压損失，按公式（1）为：

$$\Delta U_{\text{зем}}=\frac{S}{U}(r_{0\text{зем}}\cos\varphi+x_{0\text{зем}}\sin\varphi)l$$

$$=\frac{260}{10}(0.456\cdot0.8+0.414\cdot0.6)13=207 \text{ 伏，或 } 2.07\%。$$

当接地电阻 $R_{\text{заз}}=4$ 欧时，供电变电站接地体上电压損失按公式（2）为：

$$\Delta U_{\text{заз}}=1.16IR_{\text{заз}}=1.16\frac{S}{\sqrt{3}\,U}R_{\text{заз}}$$

$$=1.16\frac{260}{\sqrt{3\cdot10}}4=69.6 \text{ 伏——}0.7\%$$

大地導綫和接地体上的总电压損失是 $2.07+0.7=2.77\%$，這个电压損失比架空綫上的电压損失（4.35%）小的很多，所以接地相电压損失几乎可以不進行計算。

（三）接　地

为了变压器接地相的电气联接，"兩綫——地"制綫路中每个升压站和降压站都要考慮接地裝置。这个接地同时可用作380/220伏的低压網絡中心点接地与电气設备金屬外壳的保护接地，这种电气設备金屬外壳上正常时沒有电压，但可能因絕緣損坏而出現电压。因此，工作接地体与保护接地体可不分別安裝。

接地电阻应該使接地体对地电压無論在正常情况下或者在發生接地短路情况下都不超过規定值。

正常情况下，規定接地体对地电压不应大于50伏，因此接地电阻不应大于

$$R_{\text{заз}}=\frac{50}{I_{\text{макс}}} \quad \cdots\cdots(3)$$

以故障情况的观点來看，可把所有的电網分成接地短路电流大的电網与接地短路电流小的电網。

通常把二相接地短路电流超过500安的电網称做大接地电流电網，而把二相短路接地电流等于或小于500安的电網称做小接地电流电網。短路电流的計算方法在"發电厂与变电站"教程中有所講述。

許多情况下，可顯然看出短路接地电流小于500安，如此則可不作短路电流的計算。

供电給"兩綫——地"制農村电網的变电站，它的接地短路电流不超过500安的变电站容量列在表1中。

接地短路电流小于500安的变电站容量　　表1

变电站的电源	变电站容量（仟伏安）当电压（仟伏）为		
	6	10	35
農村發电站	1,800	3,200	10,000
大电力系統	320	320	1,800

在小接地电流的电網中，变电站容量为100仟伏安或100仟伏安以下的，它的接地

电阻不应超过 10 欧，若容量超过 100 仟伏安，接地电阻不超过 4 欧。

在大接地电流的电網中，接地电阻不应大于 0.5 欧，它的值与变电站容量無关。

小接地电流电網的接地电阻值列于表 2 中，这个电阻可滿足正常情况以及故障情况的要求。

小接地短路电流电網所需要的接地电阻 表 2

变电站編号	变电站容量（仟伏安）	接地电阻(歐)，当电压(仟伏)为		
		6	10	35
1	60	10.0	10.0	10.0
2	100	6.0	10.0	10.0
3	240	2.0	3.5	4.0
4	320	1.6	2.5	4.0
5	560	1.0	1.5	4.0
6	1,000	0.5	1.0	3.0
7	2,400	—	0.5	1.5
8	3,200			1.0
9	5,600	—	—	0.5

因为不用“兩綫——地”制的电網，变电站容量在 100 仟伏安或 100 仟伏安以下时，它的接地电阻也要小于 10 欧，容量为 100 仟伏安以上的变电站，它的接地电阻也要小于 4 欧，所以采用“兩綫——地”制时，接地体金屬的消耗量增加得很少。旣然農村变电站的平均容量都在 30～50 仟伏安之間，所以都屬于小接地电流电網。

在大接地短路电流的电網中，采用“兩綫——地”制时，接地电阻值应小于 0.5 欧，这时接地体上大量的金屬消耗往往超过了減去一根架空綫所省的錢，在此时，使用“兩綫——地”制在經济上就不合算了。不过若僅是在靠近供电变电站的地方的短路电流大于 500 安，而在离变电站較远的地点小于 500 安，那末对离供电变电站較远处各变电站的接地电阻的要求可以適当地放寬。

具有一种或数种电压的“兩綫——地”制內，在一切情况下应將所有变压器的 c 相接地，此时，二种电压共用一接地体（圖 6 和 7）。由于高压接地电流的方向与低压接地电流的方向相反，因此接地体內的总电流減少，公式（3）中最大电流的縮減

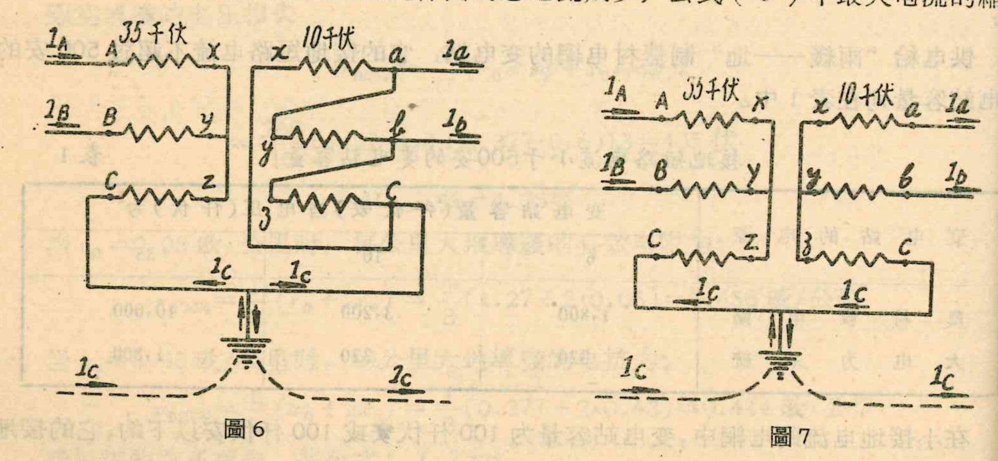


圖 6　　圖 7

系数，对于变压比为35/10仟伏，$Y—Y$ 联結的变压器为0.72。如为 $Y—\Delta$ 联結則为0.77。变压比为10/6仟伏的变压器，对上述兩种电气联結相应的縮減系数各为0.41 和 0.59。

“兩綫——地”制的电網只能經过变压器才可与三相电網联結。

（四）接地的計算

“兩綫——地”制輸电綫路的接地裝置計算可根据各个地区的導电材料供应情况决定，在有現存扁鉄、鑄鉄塊、鉄管的地方可以就利用这些材料，如在有廢炮彈殼的地方也可以利用廢彈殼，換句話說，一切導电体都可利用，只要安裝以后能够达到接地裝置的技術要求就行。

根据苏联电气設备安裝規程，“兩綫——地”制輸电綫路的接地裝置的技術要求为：如果利用大地作为相綫、回路或中性綫使用，并作为綫路的正常运行方式而不是偶然利用，則接地的对地电压在正常情况下不得超过 50 伏。

接地裝置的布置是根据各地区所选用接地体的形式并考慮当地的土壤电阻率而定的，比較普遍的布置形式有如下表所列的几种：

接地裝置布置示意圖和算式表

設計圖样	接地类型	接地电阻（歐）	备注
	管型，管頂齐地面，l—管長，d—直徑(長度單位为公尺)	$R=\frac{\rho}{2\pi l}ln\frac{4l}{d}$	$l\geqslant d$
	h—管型，h—管頂埋入地深度，l—管長，d—直徑	$R=\frac{l}{2\pi l}(ln\frac{2l}{d}+\frac{1}{2}ln\frac{4h+l}{4h-l})$	$l\geqslant d$；$\frac{4h}{l}>2$
	長型接地（条狀或管狀），h—埋入地深度，l—管長，b—闊，d—直徑	$R=\frac{\rho}{2\pi l}ln\frac{2l^2}{bh}$	$l\geqslant\frac{b}{2}$；$\frac{l}{2h}\geqslant 2.5$
	环型接地（条狀或管狀），h—埋入地深度，l—長度，d—直徑	$R=\frac{\rho}{2\pi l}ln\frac{2.6l^2}{bh}$	$\frac{l}{h}\geqslant\frac{b}{2}$；$h\geqslant\frac{l}{2\pi}$
	放于地表面的圓盤型接地（d—直徑）	$R=\frac{\rho}{2\pi d}$	—

接地电阻 R 等于50伏电压与額定电流之比：

$$R_{зaз}=\frac{V}{I}\text{（欧）}$$

土壤电阻率 ρ 表

土壤种类	土壤电阻率 ρ（歐——公分）	
	濕度占土重量的 10～20%	变动范圍
沙土	7×10^4	$4\times10^4\sim7\times10^4$
夾沙土	3×10^4	$1.5\times10^4\sim4\times10^4$
沙質粘土	1×10^4	$0.4\times10^4\sim1.5\times10^4$
黑壤土	2×10^4	$0.096\times10^4\sim5.3\times10^4$
粘土	0.4×10^4	$0.08\times10^4\sim0.7\times10^4$
河水	——	10×10^4
海水	——	$0.02\times10^4\sim0.01\times10^4$

設額定电流等于10安，則接地电阻等于5欧。由此可見，接地計算主要是計算接地电阻。接地电阻主要由接地体和接地綫的散流电阻組成，用上列公式計算所得的数值僅为接地体的电阻，应再計入与之并联的接地綫的散流电阻即为接地裝置电阻。

为决定一年內接地电阻率的最大值，应將实測电阻率乘以該时期的季節系数，其季節系数列于下表。

接地电阻率的季節系数 η_c 表

月份	接地体裝置的深度（公尺）	
	$\eta_c\doteq1$，条狀，电纜，$h<0.8$ 公尺	管型，水管 $h=0.8\sim3.5$ 公尺
1	1.05	1.2
2	1.05	1.1
3	1.00	1.0
4	1.6	1.2
5	1.95	1.3
6	2.0	1.55
7	2.2	1.75
8	1.55	1.55
9	1.6	1.70
10	1.55	1.5
11	——	1.35
12	1.65	1.35

假定無法測得接地电阻率，設計时可采用一般平均值（$\rho_{cp}=1\times10^4$ 欧—公分）做設計依据。

在做接地裝置計算时，应注意的有关問題：

1.为了减少屏蔽系数或利用系数，应使管型接地体間的相互距离不小于2.5～3公尺；应使条狀或綫狀接地体間的相互距离不小于1.5公尺。

2."兩綫——地"制輸电綫路接地計算和其他接地計算基本相同，僅接地体的对地电压不同。

3.在有自然接地体（深井鋼管等）的地方应利用自然接地体以節省接地体。

（五）"兩綫——地"制輸电綫路对电信和信号綫路的影响計算

1.名詞解釋

危險影响——电力綫路在电信和信号綫路中感应的电压和电流达到有損电信和信号管理人員及使用人員的健康或生命危險以至損坏設备和誤动作者称为危險影响。

干擾影响——电力綫路在电信和信号綫路中感应的电压和电流达到有損通話質量或不正确的音响者称为干擾影响。

接近——电力綫路和电信、信号綫路的相互位置接近到能使接近后的电信或信号綫路中產生危險影响或干擾影响者称为接近。

危險影响和干擾影响的允許值

影响的性質	电力綫路工作方式	电信和信号綫路	允許值	备注
危險影响	接地短路	一切电信和信号綫路	750伏	
	"	半自动鉄路閉塞裝置	60伏	
	"	一切电信和信号綫路	20千分焦耳	
干擾影响	正常狀态	單綫电話	30仟分伏	
	"	双綫电話	10仟分伏	此值指三級电話綫，二級为2.4(1.55)，括号內值指銅电話綫
	"	單綫快速电报	1仟分安	
	"	單綫普通电报	3仟分安	

2.接近距离和交叉距离

接近距离在电力綫路和电信綫路間的距离的变化不大于5%时称为平行接近，这种接近距离即取其平均距离。如果單綫电話綫路和"兩綫——地"制輸电綫路的距离大于3～4公里时，則不会產生干擾影响（当然不会有危險影响）。如果电信綫路和長度約10公里和額定电流小于100安的"兩綫——地"制輸电綫路平行接近距离大于500公尺，便不会產生危險影响。如果双綫电話綫路和長度10公里而額定电流小于100安的"兩綫——地"制輸电綫路的平均接近距离大于800公尺，則所產生的干擾影响是在允許范圍以內的。

在电力綫路和电信綫路間距变化很大、接近綫段的兩端的接近間距相差較大者称斜接近。其等值接近距离为几何平均接近距离。如右上圖所示，接近距离值 $a=\sqrt{a_1\cdot a_2}$。

在电力綫路和电訊綫路交叉时，計算危險和干擾影响用的交叉綫段的長度規定为电信綫路兩端与电力綫路的間距为50公尺处的兩点間的綫段，如右下圖所示。

3.危險影响計算

电磁危險影响計算：由于电力綫路接近电信綫路，在电信綫路上產生了感应的縱电动势，它的电动势的大小可依照下列公式計算确定

$$E=\sum_{1}^{n}2\pi fMl_{p}I_{k}t\text{（伏）}$$

式中 f——周波；

M——50 周波时的互感系数，可以根据公式計算确定；

l_p——接近綫段的長度（公里）；

I_k——一相接地短路电流（安），“兩綫——地”制輸电綫路可以假定为一相接地短路考慮；

t——接近綫段架空地綫对电磁影响的屏障系数，無架空地綫时 $t=1$。

$$M=(2ln\frac{2}{1.78|K|\sqrt{a^2+(b-c)^2}}+1)\times10^{-4}\text{亨/公里}$$

如（$|K|\sqrt{a^2+(b-c)^2}<0.5$），則式中 $|K|=\sqrt{4\pi\omega\sigma}$；$a$——接近距离（公分）；$b$——电力綫路導綫与地面之間的平均高度（公分）；$c$——电信綫路導綫与地面之間的平均高度（公分）；$\sigma$——大地導电率（絕对电磁單位）。

大 地 導 电 率

地層	地質和氣候条件			
	年降雨量大于500公厘		年降雨量小于500公厘	地下咸水
	絕对單位大概值	变化范圍	变化范圍	变化范圍
冲積土和軟粘土	200×10^{-14}	$100\times10^{-14}\sim500\times10^{-14}$	$1\times10^{-14}\sim200\times10^{-14}$	$100\times10^{-14}\sim200\times10^{-14}$
粘土	100×10^{-14}	$200\times10^{-14}\sim50\times10^{-14}$	$100\times10^{-14}\sim10\times10^{-14}$	$300\times10^{-14}\sim100\times10^{-14}$
泥質石灰岩	50×10^{-14}	$100\times10^{-14}\sim30\times10^{-14}$	$20\times10^{-14}\sim3\times10^{-14}$	——
有孔隙的石灰岩	20×10^{-14}	$30\times10^{-14}\sim10\times10^{-14}$	$20\times10^{-14}\sim3\times10^{-14}$	$100\times10^{-14}\sim20\times10^{-14}$
有孔砂岩和泥質頁岩	10×10^{-14}	$30\times14^{-14}\sim3\times10^{-14}$	$20\times10^{-14}\sim3\times10^{-14}$	——
石英岩 結晶石灰岩	7×10^{-14}	$10\times10^{-14}\sim1\times10^{-14}$	1×10^{-14}	——
泥質砂岩，頁岩	1×10^{-14}	$3\times10^{-14}\sim0.3\times10^{-14}$	——	$30\times10^{-14}\sim10\times10^{-14}$
花崗岩，頁岩，火成岩	1×10^{-14}	$1\times10^{-14}\sim0.1\times10^{-14}$	——	——

注：如已知年降雨量超过500公厘而地区地層相似于第一欄的情况，可采用第二欄內的導电率值。

將上述已知数值代入前式即可求出縱电能势。把計算值与危險影响允許值比較，若小于或等于允許值即达到技術要求，可不再做其他措施的設計。

靜电危險影响計算：在电信綫路沒有音响限制器且与电力綫路接近时就可能發生音响冲击危險的电能。为了防止这种事情的發生，可用下列公式進行校核計算。

$$A=4\times10^{-5}k_1^2u_l^2\frac{\left(\sum_{1}^{n}\frac{l_p}{n+2}\times\frac{bc}{a^2+b^2+c^2}\times pq\right)^2}{\sum_{1}^{n}\frac{l}{n+2}}\text{（千分焦耳）}$$

式中

	3Φ	1Φ	ДПЗ	ОПЗ
k_1	0.25	0.2	0.32	0.24

$p=0.75$，在电力綫路無架空地綫时 $p=1$；

$q=0.7$，在电信綫路附近沒有大片樹林时 $q=1$；

u_l——电力綫路綫电压（伏）；

l——接近綫段內电信綫路的長度（公里）；

l_p——接近綫段的电力綫路的長度（公里）；

a、b、c——与电磁危險影响計算同；

n——电信綫路導綫数。

4．“兩綫——地”制輸电綫路对电信綫路的干擾影响計算

为防止电力綫路在电信綫路上的靜电感应、电动势，干擾电信和信号綫路时，可依下列公式計算确定电动势

$$u=k_1u_e\frac{\sum_{1}^{n}\frac{l_p}{n+2}\times\frac{bc}{a^2+b^2+c^2}}{\sum_{1}^{n}\frac{l}{n+2}}pq\text{（伏）}$$

式中 $k_1=0.32$，“一綫——地”制輸电綫路 $k_1=0.24$，其他符号的意义見靜电危險影响公式。

当电力綫路对單綫电話綫路引起电磁感应幷出現干擾影响的电动势时，其电动势的大小可用下列公式計算

$$u_{MO}=10^7\frac{Z_a}{Z_el+2Z_a}\times F_il\sum_{1}^{n}M_eI\text{（千分伏）}$$

式中 Z_a——电話机在 800 周波时的阻抗（欧）；

Z_e——單綫电信綫在 800 周波时的阻抗（欧/公里），可用下式計算

$$Z_e=R+jw(2ln\frac{2}{1.78|K|\rho}+1)\times10^{-4}\text{欧/公里}$$

F_i——电流波的电話干擾因数，一般取 0.01；

l——接近綫段內通訊綫的長度（公里）；

$|K|$——$\sqrt{4\pi\omega\sigma}$

ρ——电訊綫路導綫半徑（公分）；

M_e——在 800 周波时，單綫电信綫路与电力綫路間的互感系数。

当电力綫路对双綫电話綫路引起电磁感应幷出現干擾影响的电动势时，其电动势大小按下列公式計算

$$u_m=\sqrt{u_{m1}^2+u_{m2}^2}$$

式中 $u_{m1}=10^4\frac{d}{a}F_iIl_s'$（千分伏）；

$$u_{m2}=5\times10^6\eta F_iI\sum_{1}^{n}M_el_p\text{（千分伏）。}$$

式中 d——双綫电話綫導綫間距（公尺）；

a——接近距离（公尺）；

F_1——电流波的电話干擾因数；

I——“兩綫——地”制輸电綫路的最大負荷电流（安）；

l'_s——电話綫路換位間的計算長度（公里）；

η——双綫电話对雜音的敏感系数，为干擾电压（u_b）与該回綫的縱电动势（E）之比（对橫担电話 $\eta=0.008$，对鈎瓶电話 $\eta=0.015$）；

l_p——接近綫段長度（公里）。

电力綫路对單綫电信綫路的静电感应，該綫路的电报机的干擾电流可按下列公式計算

$$I_a=k_2\times 10^{-3}u_e\sum_1^n\frac{l_p}{n+2}\times\frac{bc}{a^2+b^2+c^2}\times pq\text{（千分安）}$$

式中 k_2——“兩綫——地”制輸电綫路为 0.9，“一綫——地”制輸电綫路为 0.68。

电力綫路对双綫电信綫路的静电感应，在双綫电話回路中干擾电动势可按下列公式計算

$$u_s=\sqrt{u_{s1}^2+u_{s2}^2}\text{（千分伏）}$$

式中 $u_{s1}=90\times 10^{-3}k_1\eta Z_aFu_e\frac{l'_s}{n+2}\times\frac{abcd}{(a^2+b^2+c^2)^2}$（千分伏）（橫担电話）

$$u_{s2}=16\times 10^{-3}k_2Z_aFu_e\sum_1^n\frac{l_p}{n+2}\times\frac{bc}{a^2+b^2+c^2}\times pq\text{（千分伏）}$$

F——电压波的干擾因数 0.01。

其他符号的意义与前列的相同。

电力綫路对單綫电信綫路的电磁感应，在該綫路的电报机中的干擾电流按下列公式計算

$$I_{ma}=3.14\times 10^5\frac{I}{2Z'_a+Zl}\sum_1^n Ml_p\text{（千分安）}$$

式中 Z——为每公里电报綫在 $f=50$ 周波时的电阻抗

Z'_a——电报机在 $f=50$ 周波时的阻抗（欧），其他符号的意义同前。

电力綫路与电信綫路交叉时，在电信綫路中的干擾电压和干擾电流同样產生危險影响和干擾影响。因此，应進行計算，使干擾影响獲得明确的論証。其計算公式介紹如下

（Ⅰ）电力綫路在电信綫路單綫电报机的干擾电流按下列公式計算

$$I'_a=2.8\times 10^{-6}k_2u_e\frac{e}{(n+2)sin\varphi}\text{（千分安）}$$

（Ⅱ）电力綫路对單綫电話綫路的感应的雜音电动势按下列公式計算

$$u'_{s0}=90\times 10^{-6}k_2Z_aFu_e\frac{c}{(n+2)sin\varphi}\text{（千分伏）}$$

（Ⅲ）电力綫路对双綫电話綫路的感应的雜音电动势按下列公式計算

$$u'_s=\sqrt{u'^2_{s1}+u'^2_{s2}}$$

式中 $u'_{s1}=45\times 10^{-6}k_2Z_aFu_e\frac{d\,sin\psi}{(n+2)sin\varphi}$（千分伏）

$$u'_{s2}=90\times 10^{-6}k_2\eta Z_aFu_e\frac{c}{(n+2)sin\varphi}\text{（千分伏）}$$

φ——电力綫路与电信綫路的交叉角度。

ψ——电話綫路導綫平面与水平面的傾斜角度。

其他各符号見前。

以上所述公式是介紹的簡單的式子，許多有关因素沒有詳細的分析和說明，希望应用时注意基本条件，以免發生錯誤。

V 計算举例

已知数：有关通信綫的数据（如長度，綫号，換位最大間距等）見附表；

大地導电率 $\sigma=0.5\times 10^{-14}$ 絕对电磁單位（因無实测值，所以以东北地区最坏的計算）；

發电机次瞬間电抗 $X''_d=0.27$（标么值）（發电机 50 瓩 220 伏，50 周，600 轉/分）；

升压变压器阻抗电压 $u_k\%=5.7$（容量为 50 千伏安，三相 $Y-Y$，3300/220 伏/8.75/131.5安）；

电話綫 800 周波时阻抗 $Z_a=600$ 欧（銅，鋁綫）；

$Z_a=1,000$ 欧（鉄电話綫）；

音响电报的全阻抗 $Z'_a=600$ 欧；

送电綫平均高度 $b=7$ 公尺；

通信綫平均高度 $c=6$ 公尺；

通信綫間距离 $d=0.22$ 公尺及 0.4 公尺。

VI 計算过程

1. 短路电流 I_k 的計算：因为短路电流甚小，所以在計算危險影响时都以在升压变压器高压出綫处發生三相短路所得的最大短路电流計算。

$I_k=\sqrt{2}PI''_d=\sqrt{2}P\frac{I_H}{X''_d+X_{Tp}}$ P 为冲击系数，当变压器容量＜100 仟伏安时，$P=1$

$$\therefore I_k=I_H\frac{\sqrt{2}}{0.27+0.057}=8.75\times\sqrt{2}\times 3.06=\sqrt{2}\times 26.8\text{ 安}=37.8\text{ 安}$$

2. 互感系数：查規程中的附圖（見电業規程彙編第 231 及 385 頁）求得 50 周与800 周之互感系数如下頁表中所列。

3. 危險影响：感应縱电动势 $E=0.7\Sigma\omega Ml_p\cdot I_k$（伏）

乙綫 $E=0.7\times(573.4\times 10^{-3})\times 37.8=15.4$ 伏＜60 伏（合格）

甲綫 $E=0.7\times(459.7\times 10^{-3})\times 37.8=12.3$ 伏＜750 伏（合格）

通信綫名称	接近綫段編号	該段送电綫內正常工电流（安）	接近寬度				接近長度		互感系數				$\frac{b_c l_p}{a^2 b^2 c^2}$
			a_1	a_2	$a_1 a_2$	$a_3=\sqrt{a_1 a_2}$	全長 l	投影長 l_p	ωm	$\omega m l_p$	m_e	$m_e l_p I$	
			公尺	公尺	10^4公尺^2	公尺	公里	公里	10^{-3}歐/公里	10^{-3}歐	10^{-6}亨/公里	10^{-6}亨-安	10^{-4}公里
甲綫	A	4.545	1,000	600	60	773	0.5	0.25	110	27.5	175	198	0.175
	B	4.545	600	270	16.2	402	0.38	0.19	150	28.5	275	237.5	0.493
	C	4.545	270	90	2.41	156	0.2	0.1	216	21.6	490	222	1.74
	D	4.545	90	30	0.21	52	0.008	0.034	275	9.35	650	100.6	5.13
	E	4.545	30	10	0.03	17.3	0.024	0.012	350	4.2	860	47	18.1
	F	4.545	10	30	0.03	17.3	0.024	0.012	350	4.2	850	47	13.1
	G	4.545	30	90	0.27	52	0.068	0.034	275	9.35	650	100.5	5.73
	H	4.545	90	270	2.41	156	0.2	0.1	216	21.6	490	222	1.74
	I	4.545	270	310	22.0	468	0.6	0.3	140	47	250	340	0.572
	J	4.545	810	380	112.0	1,060	0.72	0.36	90	32.2	126	204	0.135
	K	1.575	120	300	3.6	190	0.65	0.60	200	120	420	397	7.00
	L	1.575	300	600	18.0	425	1.0	0.96	145	130	263	405	2.24
	總和						4.434			459.7		2520.0	50.55
乙綫	a	6.29	700	600	42	630	0.38	0.36	130	46	200	452	0.86
	b	6.29	600	900	49	700	0.72	0.68	125	85	185	790	0.583
	c	4.545	900	1,200	100	1,000	2.32	2.30	105	242	135	1410	0.965
	d	1.575	1,540	600	81	900	1.54	1.23	110	135.0	150	291	0.638
	e	1.575	600	220	12.2	350	0.60	0.48	165	79.2	300	227	1.650
	f	1.75	320	1,000	30.1	550	1.66	0.41	140	57.5	232	166	0.572
	g	1.75	1,000	3,720	360	1,900	1.82	0.41	70	28.7	60	43	0.048
	總和						9.04			573.4		2879	5.416

音响冲击电能 $$A=4\times10^{-5}k_1^2U_R^2\frac{\left(\sum_1^n\frac{l_p}{n+2}\cdot\frac{bc}{a^2+b^2+c^2}pq\right)^2}{\sum_1^n\frac{l}{n+2}}\text{（千分焦耳）}$$

其中 $k_1=0.32$；$p=q=1$

电話綫数目 n

乙綫 $n=24$ $$A=4\times10^{-5}(0.32)^2(3,300)^2\frac{\left(\frac{1}{26}\right)^2\left(5.416\times10^{-4}\right)^2}{\frac{9.04}{26}}.$$

$$=5.555\times10^{-8}<20\text{ 千分焦耳（合格）}$$

甲綫 $n=2$ $$A=4\times10^{-5}(0.32)^2(3,300)^2\frac{4}{4.434}\left(\frac{1}{4}\right)^2\left(50.55\times10^{-4}\right)^2$$

$$=6,400\times10^{-8}<20\text{ 千分焦耳（合格）}$$

4.乙綫双綫电話綫內所生之雜音电动势 U_{sm}

$$U_{m1}=10^4\frac{d}{a}F_iIl_s'=10^4\times\frac{0.22}{650}\times10^{-2}\times6.29\times\frac{129.05}{2}$$

$$=13.8\text{（千分伏）}$$

附注：1.計算中$\frac{I}{a}$采用第 a 段的數值，因該段$\frac{I}{a}$值最大；

2.$l_s'=\frac{129.05}{2}=\frac{l_s}{2}$；129.05 为双綫电話中兩次換位間最大距离的公里數。

$$U_{m2}=5\times10^6\eta F_iI\sum_1^nM_el_p$$

$$=5\times10^6\times0.008\times0.01\times2,879\times10^{-6}\times1=1.15\text{ 千分伏}$$

$$U_{s1}=90\times10^{-3}k_1Z_aFU_l\frac{l_s'}{n+2}\cdot\frac{abcd}{(a^2+b^2+c^2)^2}$$

$$=90\times10^{-3}\times0.32\times1,000\times10^{-2}\times3,300\times\frac{129.05}{2(24+2)}\times$$

$$\times\frac{350\times7\times6\times0.22}{(350^2+7^2+6^2)^2}=0.505\times10^{-3}\text{千分伏}$$

附注：采用 $a=350$，即第 e 段，因該段离通信綫最近，靜电影响最大。

$$U_{s2}=16\times10^{-3}\times k_2\times Z_a\eta FU_l\sum_1^n\frac{l_p}{n+2}\cdot\frac{bc}{a^2+b^2+c^2}pq$$

$$=16\times10^{-3}\times0.9\times10^3\times0.008\times10^{-2}\times3,300\times\frac{1}{24+2}\times$$

$$\times(5.416\times10^{-4})\times1\times1=0.0791\times10^{-3}\text{千分伏}$$

$$U_{sm}=\sqrt{U_{m1}^2+U_{m2}^2+U_{s1}^2+U_{s2}^2}$$

$$=\sqrt{(13.8)^2+(1.15)^2+(0.505\times10^{-3})^2+(0.0791\times10^{-3})^2}$$

$$=13.85>1.75\text{（不允許）}$$

5.甲綫（双綫电話）所生的雜音电动势 U_{sm}

$$U_{m1}=10^4\frac{0.4}{17.3}\times10^{-2}\times4.545\times\frac{8}{2}=42\text{千分伏（采用}\frac{I}{a}=\frac{4.545}{17.3},$$

即第 E、F 段，因該二段$\frac{I}{a}$最大；$l_s=8$，因全綫未換位）

$$U_{m2}=5\times10^6\times0.008\times0.01\times2,520.5\times10^{-6}=1\text{ 千分伏}$$

$$U_{s1}=90\times10^{-3}\times0.32\times1,000\times10^{-2}\times3,300\times$$

$$\times\frac{8}{2(2+2)}\cdot\frac{17.3\times7\times6\times0.4}{(17.3^2+7^2+6^2)^2}=1.86\text{ 千分伏}$$

$$U_{s2}=16\times10^{-3}\times0.9\times10^3\times(8\times10^{-3})\times10^{-2}\times3,300\frac{1}{2+2}\times$$

$$\times(50.55\times10^{-4})\times1\times1=4.8\times10^{-3}\text{千分伏}$$

$$U_{sm}=\sqrt{U_{m1}^2+U_{m2}^2+U_{s1}^2+U_{s2}^2}=\sqrt{42^2+1^2+1.86^2+(4.8\times10^{-3})^2}$$

$$=42>10\text{ 千分伏（不允許）}$$

6.增加通信綫之換位后所生的雜音电动势 U_{sm}

乙綫电話綫，令 $l_s=12.9$ 公里

$$U_{sm}=\sqrt{\left(U_{m1}\frac{12.9}{129}\right)^2+\left(U_{m2}\right)^2+\left(U_{s1}\frac{12.9}{129}\right)^2+U_{s2}^2}$$

$$=1.8\text{ 千分伏（略大于允許值 1.75）}$$

甲綫电話綫，令 $l_s=1.5$ 公里

$$U_{sm}=\sqrt{\left(U_{m1}\frac{1.5}{8.0}\right)^2+U_{m2}^2+\left(U_{s1}\frac{1.5}{8.0}\right)^2+U_{s2}^2}$$

$=7.95$ 千分伏＜10（允許）

7. 單綫快速电报

电报綫全長 $l=400.82$ 公里；

电报綫阻抗 $Z=1.5$ 歐/公里（独股銅綫直徑 4.0 公厘，电阻 $R=1.5$ 歐/公里，电抗 $X=0.32$ 歐/公里）；

电磁干擾电流 I_{am}

$$I_{am}=3.14\times10^5\frac{1}{2Z'_a+Zl}I\sum_1^n M_e l_p rs\text{（千分安）}$$

$$=3.14\times10^5\frac{1}{2\times600+1.5\times400.82}(2,879\times10^{-6})\times1\times1$$

$=0.501$（千分安）

靜电干擾电流 I_{as}

$$I_{as}=k_2\times10^{-3}\times u_l\sum_1^n\frac{l_p}{n+2}\;\frac{bc}{a^2+b^2+c^2}pq$$

$$=0.9\times10^{-3}\times3,300\times\frac{1}{24+2}(5.416\times10^{-4})\times1\times1$$

$=0.06\times10^{-3}$（千分安）

总干擾电流 $I_a=\sqrt{I_{as}^2+I_{am}^2}=\sqrt{0.501^2+(0.06\times10^{-3})^2}$

$=0.501<1$ 千分安（允許）

8. 單綫普通电报（音响电报）的干擾电流 I_a

电报綫全長 $l=190.547$ 公里；

附錄 1　架空綫路互感电抗的近似值，

導綫直徑或截面（公厘）＼*導綫間几何平均距离（公厘）	3.5	4	5	6	4	6	10	16
	电抗							
400	0.341	0.332	0.318	0.307	0.385	0.371	0.355	0.333
600	0.368	0.359	0.345	0.334	0.411	0.397	0.381	0.358
800	0.384	0.375	0.361	0.350	0.429	0.415	0.399	0.377
1000	0.398	0.389	0.375	0.364	—	0.429	0.413	0.391
1250	—	0.403	0.389	0.378	—	0.443	0.427	0.405
1500	—	0.414	0.400	0.389	—	—	0.438	0.416
2000	—	—	—	—	—	—	0.457	0.435
2500	—	—	—	—	—	—	—	0.449
3000	—	—	—	—	—	—	—	0.460
3500	—	—	—	—	—	—	—	0.470
4000	—	—	—	—	—	—	—	0.478
4500	—	—	—	—	—	—	—	—
5000	—	—	—	—	—	—	—	—
5500	—	—	—	—	—	—	—	—
6000	—	—	—	—	—	—	—	—

*導綫間几何平均距离 d_{crp} 即三導綫互相間的距离的乘積 $d_{1-2}, d_{2-3}, d_{3-1}$，开三次方，

电报綫阻抗 $Z=14$ 歐/公里（4.5 公厘 Φ 鉄綫）

$$I_{am}=3.14\times10^5\frac{1}{2\times600+14\times190.547}(2,879\times10^{-6})\times1=0.24\text{千分安}$$

$I_{as}=0.06\times10^{-3}$ 千分安（与快速电报同）

总干擾电流 $I_a=\sqrt{I_{as}^2+I_{am}^2}=\sqrt{(0.06\times10^{-3})^2+(0.24)^2}$

$=0.24<3$ 千分安（允許）

5. 附錄

通信綫的数据，通信綫平均高度 $c=6$ 公尺，平均間距 $d=0.22$ 公尺（沿專用綫 $=0.4$ 公尺）。

名称	導綫編号	通信綫全長 l（即中繼站間公里數）	換位間最大之距离 l_s（公里）	通信綫綫号	通信綫800周波之阻抗 Za（Ω）	用途	注
甲綫	1	129.05	1.215	Мф4	600	双綫电話	Мф4为4公厘直徑之銅綫 Жф4.5 为 4.5 公厘直徑之鉄綫
	2	129.05	129.05	Жф4.5	1000	双綫电話	
	3甲	190.547	190.547	Жф4.5	1000	單綫电报	
	3乙	11.05	11.05	Жф4.5	1000	半自动閉塞綫	
	4	190.547	12.90	Мф4	600	双綫电話	5 号位置空
	6	129.05	129.05	Жф4.5	1000	双綫电話	
	7	73.878	17.7	Жф4.5	1000	双綫电話	
	8	129.03	5.05	Мф4	600	双綫电話	
	9	190.547	4.85	Мф4	600	双綫电話	
	10	129.03	17.7	Жф4.5	1000	双綫电話	11号位置空
	12	190.547	8.73	Мф2.9	700	双綫电話	
	13	129.03	129.03	Аф4.0	600	双綫电話	Аф4为4 公厘直徑之鋁綫
	16	400.82	1.12	Мф4.0	600	双綫电話帶載波	14、15号位置空
乙綫		8.0	8.0	Жф4	1000	双綫电話	

适用于銅綫、鋁綫和鋼綫

導綫間几何平均距离（公厘）	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
	（歐/公里）									
400	0.319	0.308	0.297	0.283	0.274	—	—	—	—	—
600	0.345	0.336	0.325	0.309	0.300	0.292	0.287	0.280	—	—
800	0.363	0.352	0.341	0.327	0.318	0.310	0.305	0.298	—	—
1000	0.377	0.366	0.355	0.341	0.332	0.324	0.319	0.313	0.325	0.298
1250	0.391	0.380	0.369	0.355	0.346	0.338	0.333	0.327	0.319	0.312
1500	0.402	0.391	0.380	0.366	0.357	0.349	0.344	0.338	0.330	0.323
2000	0.421	0.410	0.398	0.385	0.376	0.368	0.363	0.357	0.349	0.342
2500	0.435	0.424	0.413	0.399	0.390	0.382	0.377	0.371	0.363	0.356
3000	0.446	0.435	0.423	0.410	0.401	0.393	0.388	0.382	0.374	0.367
3500	0.456	0.445	0.433	0.420	0.411	0.403	0.398	0.392	0.384	0.377
4000	0.464	0.453	0.441	0.428	0.419	0.411	0.406	0.400	0.392	0.385
4500	0.471	0.460	0.448	0.435	0.426	0.418	0.413	0.407	0.399	0.392
5000	—	0.467	0.456	0.442	0.433	0.425	0.420	0.414	0.406	0.399
5500	—	—	0.462	0.443	0.439	0.431	0.426	0.420	0.412	0.405
6000	—	—	0.468	0.454	0.445	0.437	0.432	0.426	0.418	0.411

意即 $d_{c.r.p}=\sqrt[3]{d_{1-2}d_{2-3}d_{3-1}}$ ——譯注

附錄 2　　裸銅綫、鋁綫和鋼心鋁綫的电阻值

标准截面(平方公厘)	M 導綫股數	M 導綫計算直徑(公厘)	M 溫度+20°时电阻不能大于下值(歐/公里)	A 導綫股數	A 導綫計算直徑(公厘)	A 溫度+20°时电阻不能大于下值(歐/公里)	AC 鋁綫股數	AC 鋼綫股數	AC 鋼心計算截面(平方公厘)	AC 導綫計算直徑(公厘)	AC 溫度+20°时电阻不能大于下值(歐/公里)	ACY 鋁綫股數	ACY 鋼綫股數	ACY 鋼心計算截面(平方公厘)	ACY 導綫計算直徑(公厘)	ACY 溫度+20°时电阻不能大于下值(歐/公里)
4	1	2.2	4.65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	1	2.7	3.06	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	1	3.5	1.84	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16	7	5.1	1.20	7	5.1	1.96	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
25	7	6.3	0.74	7	6.3	1.27	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
35	7	7.5	0.54	7	7.5	0.91	6	3	4	8.3	0.91	—	—	—	—	—
50	7	9.0	0.39	7	9.0	0.63	6	7	7	9.9	0.63	—	—	—	—	—
60	12	10.4	0.32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
70	19	10.6	0.28	7	10.6	0.45	6	7	9	11.7	0.45	—	—	—	—	—
95	19	12.4	0.20	7	12.4	0.33	28	7	18	13.9	0.33	—	—	—	—	—
120	19	14.0	0.158	19	14.0	0.27	28	7	22	15.3	0.27	30	7	27	15.6	0.27
150	19	15.8	0.123	19	15.8	0.21	28	7	27	17.0	0.21	30	7	34	17.5	0.21
185	37	17.5	0.103	19	17.4	0.17	28	7	34	19.1	0.17	30	7	43	19.6	0.17
240	37	20.0	0.078	—	—	—	28	7	43	21.5	0.131	30	7	56	22.4	0.131
300	37	22.2	0.062	—	—	—	28	7	56	24.4	0.105	30	19	72	25.2	0.105
400	37	25.6	0.047	—	—	—	28	19	72	27.8	0.078	30	19	93	29.3	0.078

附錄 3　　鋼導綫的电阻值(歐/公里)

电流(安)	導綫牌号 ЖФ3.5	ЖФ4	ЖФ5	ЖФ6	ПС-25	ПС-35	ПС-50	ПС-70	ПС-95
0.5	14.9	11.5	—	—	—	—	—	—	—
1	15.2	11.8	—	—	5.25	3.66	2.75	1.70	1.55
1.5	15.7	12.3	7.9	—	5.26	3.66	2.75	1.70	1.55
2	16.1	12.5	8.35	7.2	5.27	3.66	2.75	1.70	1.55
3	17.4	13.4	9.5	7.7	5.28	3.67	2.75	1.70	1.55
4	18.5	14.3	10.8	8.85	5.30	3.69	2.75	1.70	1.55
5	20.1	15.5	12.3	10.1	5.32	3.70	2.75	1.70	1.55
6	21.4	16.5	13.8	10.7	5.35	3.71	2.75	1.70	1.55
7	21.5	17.3	15.0	11.1	5.37	3.73	2.75	1.70	1.55
8	21.7	18.0	15.4	11.3	5.40	3.75	2.76	1.70	1.55
9	21.8	18.1	15.2	11.4	5.45	3.77	2.77	1.70	1.55
10	21.9	18.1	14.6	11.5	5.50	3.80	2.78	1.70	1.55
15	20.2	17.3	13.6	11.3	5.97	4.02	2.80	1.70	1.55
20	—	—	12.7	11.0	6.70	4.40	2.85	1.72	1.55
25	—	—	—	10.7	6.97	4.89	2.95	1.74	1.55
30	—	—	—	—	7.10	5.21	3.10	1.77	1.56
35	—	—	—	—	7.10	5.36	3.25	1.79	1.56
40	—	—	—	—	7.02	5.35	3.40	1.83	1.57
45	—	—	—	—	6.92	5.30	3.52	1.88	1.57
50	—	—	—	—	6.85	5.25	3.61	1.93	1.58
60	—	—	—	—	6.70	5.13	3.69	2.07	1.58
70	—	—	—	—	6.60	5.00	3.73	2.21	1.61
80	—	—	—	—	6.50	4.89	3.70	2.27	1.63
90	—	—	—	—	6.40	4.78	3.68	2.29	1.67
100	—	—	—	—	6.32	4.71	3.65	2.33	1.71
125	—	—	—	—	—	4.60	3.58	2.33	1.83
150	—	—	—	—	—	4.47	3.50	2.38	1.87
175	—	—	—	—	—	—	3.45	2.23	1.89
200	—	—	—	—	—	—	—	2.19	1.88

附錄 4　　鋼導綫自感抗(歐/公里)

电流(安)	導綫牌号 ЖФ3.5	ЖФ4	ЖФ5	ЖФ6	ПС-25	ПС-35	ПС-50	ПС-70	ПС-95
0.5	1.04	0.69	—	—	—	—	—	—	—
1	2.27	1.54	—	—	0.54	0.33	0.23	0.16	0.08
1.5	4.24	2.82	2.13	—	0.55	0.34	0.23	0.16	0.08
2	6.45	4.38	3.58	3.95	0.55	0.35	0.24	0.17	0.08
3	9.6	7.9	6.45	5.53	0.56	0.36	0.25	0.17	0.08
4	11.9	9.7	8.1	7.2	0.59	0.37	0.25	0.18	0.08
5	14.1	11.5	9.7	8.4	0.63	0.40	0.26	0.18	0.08
6	16.3	12.5	11.2	9.15	0.67	0.42	0.27	0.19	0.08
7	16.5	13.2	12.3	9.55	0.70	0.45	0.27	0.19	0.08
8	16.7	14.2	13.3	9.85	0.77	0.48	0.28	0.20	0.08
9	16.9	14.3	13.1	9.9	0.84	0.51	0.29	0.20	0.08
10	17.1	14.3	12.4	10.3	0.93	0.55	0.30	0.21	0.08
15	18.3	13.3	11.4	10.0	1.33	0.75	0.35	0.23	0.08
20	—	—	10.5	9.7	1.63	1.04	0.42	0.25	0.09
25	—	—	—	9.2	1.91	1.32	0.49	0.27	0.09
30	—	—	—	—	2.01	1.56	0.59	0.30	0.09
35					2.06	1.64	0.69	0.33	0.09
40					2.09	1.69	0.80	0.37	0.10
45					2.08	1.71	0.91	0.41	0.11
50					2.07	1.72	1.00	0.45	0.11
60					2.00	1.70	1.10	0.55	0.13
70					1.90	1.64	1.14	0.65	0.15
80					1.79	1.57	1.15	0.70	0.17
90					1.73	1.50	1.14	0.72	0.20
100					1.67	1.43	1.13	0.73	0.23
125					—	1.29	1.04	0.73	0.31
150					—	1.27	0.95	0.73	0.34
175					—	—	0.94	0.71	0.35
200					—	—	—	0.69	0.35

八、四川省小型水电厂調查报告

水利部北京勘测設計院水电組

我們这次到四川主要是調查已建成的小型水电厂的情况，收集資料，总結設計、施工、运轉等方面的經驗。四川省水力資源丰富，小型水电厂的数量很多，但我們因限于时間，只調查了 18 个縣的 21 所小型水力發电厂（見 92～93 頁附表），都是屬于省工業廳系統的。現就这些小型水电厂的开發方式、水工建筑物、机电設备、經营管理等方面作一綜合的敘述，并介紹一些比較好的經驗。

一、开發方式

这些小型水电厂的容量自 5 瓩到 350 瓩，水头自 1.5 公尺到 50 公尺，流量自 1.0 秒公方到 6.0 秒公方，分布于平原与山地，其开發方式大致可分为下列四种：

（1）灌溉渠道上的低水头引水式电厂：这种电厂大部分在成都平原上，水头为1.5～2.0 公尺，流量 1～4 秒公方，容量在 50 瓩以下，利用灌溉渠道的坡降与渠道上的溢水堰得到水头。布置方式如圖 1。



图 1. 地方國營新繁水电厂樞紐佈置圖(水头1.5公尺,流量1.5~2.0秒公方)

这类电厂的水头往往受附近农田的影响，若溢水堰將水位抬得太高了，就有淹沒农田的危險；而流量則受灌溉季節的影响，尤其当电厂建在灌溉渠道的尾部时，在灌溉季節，电厂水量就感不足，这在选擇厂址时必須考慮。很多电厂發生灌溉与發电的矛盾，是由于在建厂时对于灌溉用水量估計不足的緣故。

（2）灌溉渠道上的河床式低水头电厂：这种电厂不多，主要当灌溉渠道較大时，在渠道上直接攔堤擋水，取得水头。如温江电厂就是利用现成的灌溉渠上的石拱桥的 2 孔桥洞裝上閘板，作为泄洪閘，另 1 孔桥洞排泄尾水，并在下游將尾水出水与渠道主流隔开，使下游水位降低，取得水头，如圖 2。这种布置方式，主要应有足够的排洪寬度。为了得到水头，可將尾水渠挖深，上游水位不能过分抬高，以免淹沒。

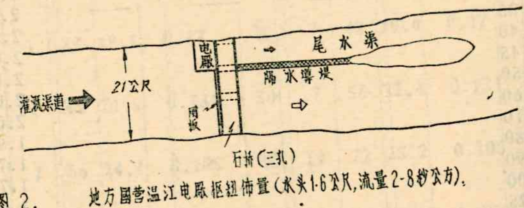


图 2. 地方國營温江电廠樞紐佈置(水头1.6公尺,流量2~8秒公方).

（3）自大河中引水的低水头电厂：这种电厂共調查了 5 个，大部分是利用原有灌溉引水系統，电厂是利用已建成的灌溉引水建筑物，这种引水建筑物如渠道等往往長达 10 多里或 20 里，而所得水头僅 5、6 公尺，若僅僅为了發电是不經济的。現在介紹崇慶縣西門水电厂的开發方式，我們認为是比較好的。

崇慶縣西門水电厂是利用西河的水和西河洪水灘地的坡降而建造的，其樞紐布置如圖 3。進水口离电厂 4 公里，一路上都是砂石灘地，在平时西河水走主流（圖 3 中兩防洪堤間的河道），到洪水季節即經过灘地泄洪。由于电厂建在灘地上，故必須將自西河引入的水貯藏起來，得到水头。在电厂前面建了一个人工水庫，由砂石圍堤而成，在引水渠道進入水庫处建有一防洪洞。在平时水自引水渠進入水庫，防洪洞是

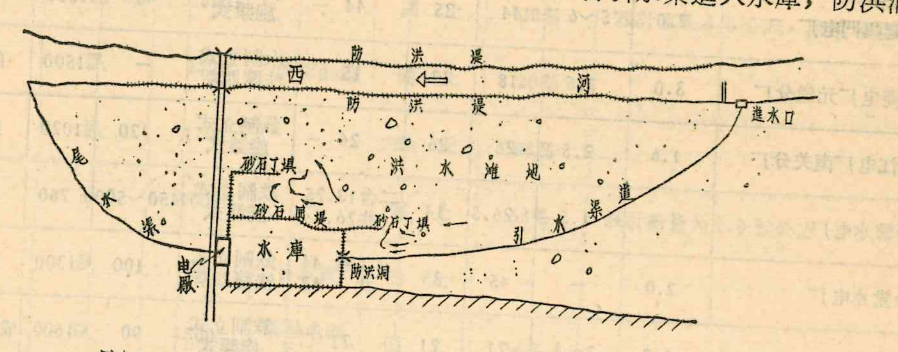


图 3. 崇慶縣西门电廠樞紐佈置(設計水头4.0公尺,設計流量10秒公方).

开着的，当洪水來时，庫內水位与庫外水位同时增高，到某一高水位时，必須堵塞防洪洞，以免庫內水位繼續升高时發生內外压力差过大（灘地上水不深）或庫內水向庫外溢流（堤頂高程不同）的危險。如何防止洪水冲毁砂石堤，是最重要的問題。該电厂采用了順水流方向建筑的砂石丁壩，使水庫圍堤外面的水对圍堤無动力作用（或很小），只是靜止压力，因为洪水水流一進入丁壩保护范圍內就平靜了，現在的任务只是加强丁壩头上的防冲能力。这样就將坡降較大的洪水灘地利用起來建造电厂，因为就地取材（砂石），故造价低廉。它的特点是利用砂石丁壩避开洪水。

像西河一样的河流在我國各省中是很多的，所以西門水电厂的开發方式是可以推廣的。

（4）山区高水头引水式电厂：利用山区河流上游陡坡或瀑布而取得水头，一般都是有壩引水，并形成一个小水庫（僅供日調節），引水建筑物多为渠道，在渠尾接一前池与压力管道。这类电厂存在着兩个問題：1.山区小河流量一年內变化很大，冬季枯水期常感流量不足，而增加壩高則由于所增蓄的水量不多，反而形成淹沒损失，

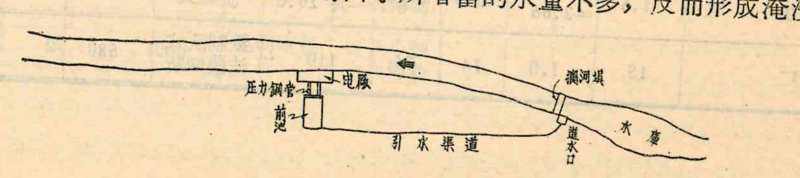


图 4 高水头引水式电站樞紐佈置图.

电厂名称	实际水头（公尺）	实际流量（秒公方）	电厂可能出力（瓩）	实际最大負荷（瓩）	水輪机 容量（瓩）	型式	轉速（轉/分）	直徑（公厘）	制造厂家
大邑王泗新民水电厂	2～3	0.9	15	2.3	15	鉄制立式旋槳式	260	425	成都川源机械工業社
大邑安仁大邑中学附屬电厂	15	0.8	5	5.0		木制立式法蘭西斯	45	850	自制
崇慶西門电厂	2.0	5～6	44	35	44	木制立式旋槳式	45	1800	自制
崇慶电厂元通分厂	3.0	3.5	18	13	15	木制立式法蘭西斯	—	1500	自制
灌江电厂南关分厂	1.6	2.8	26	26	26	鉄制立式旋槳式	420	1020	自制
新繁水电厂	1.5	1.5	26.5	14	二台13.25 共26.5	鉄制立式旋槳式	450～500	760	—
金堂水电厂	2.0	—	45	35	二台 44 共 88	鉄制立式法蘭西斯	100	1300	成都制
崇寧水电厂	1.8	3～4	21	21	21	鉄制立式旋槳式	90	1600	成都机械厂
三台水电厂	5	6	200	120	三台67 共 201	鉄制立式旋槳式	500	750	重慶柴油机厂
新津水电厂	2.6	2.0	22	19.8	二台16.5 共 33	鉄制立式旋槳式	375	600	成都前進鉄工厂
中江水电厂	5.6	1.7	140	60	82	鉄制立式旋槳式	500	650	重慶柴油机厂
遂寧水电厂	5	5	—	162	186	同上	267	1500	同上
雅安水电厂（一）	36	1.5	300	—	410	臥式法蘭西斯	375	—	同上
雅安水电厂（二）	10	1.5	100	—	110	同上	500	700	國民党資源委員会昆明中央机械厂
綦江大常电厂	3.4	—	50	50	50	卡普蘭式	360	750	重慶柴油机厂
綦江东溪电厂	12	0.14	13	13	13	臥式法蘭西斯	650	300	同上
郫縣水动力厂	1.5	2×1.33 =2.66	26.4	26.4	二台14.5 共 29.0	鉄制立式旋槳式	73	1200	
大竹水电厂	15	1.0	74	74	110	鉄制臥式法蘭西斯	580		重慶柴油机厂

發电机 容量（仟伏安）	型式	轉速	制造厂家	傳动設备	电厂效率 %	备注
25	臥	1200	舊貨	齒輪皮帶二次傳动		水头設計3.0公尺，实际只有2公尺
28	臥	1500	外國貨	同上	40%	
70	臥	800	—	同上	30%	設計水头4.0公尺，流量10秒公方
15	臥	1500	成都裝配	同上	20%	
30	臥	1200	—	同上	58%	
30 2.5	臥	1000	—	同上	63%	設計流量为2.0秒公方
50	臥	1000	日本貨	同上	—	
30 7	臥	1500	美昌电器厂	同上	34%	
三台75 共 225	臥式改为立式	1000	華生电机制造厂	三角皮帶与交叉皮帶	—	
22 18	臥	1200	—	齒輪皮帶二次傳动	—	
100	立	500	渝光电机制造厂	直联	—	
200	臥式改为立式	750	華生电机制造厂	人字齒一次傳动	66%	
300	臥	375	德國西門子	直联	—	
100	臥	500	資源委員会昆明中央机械厂	直联	—	
50	臥	1500	華生电机制造厂	二次皮帶傳动	—	
16	臥	1500	改裝	一次皮帶傳动	—	
18 25	臥 臥	1500	德國貨	齒輪皮帶二次傳动	—	
100	臥	1000	昆明电机厂	三角皮帶一次傳动		

極不合算，这些缺点都是由于原設計时对于河流流量資料掌握不全，誤差太大，以致裝机容量过大，在枯水期就不能滿足負荷的要求。2.小水庫容易淤積，万縣水电厂目前就存在水庫淤積問題，这也是由于原設計对于水庫的冲沙設备考慮欠周。例如在壩中只有一个很小的冲砂孔，根本冲不走大量的泥砂。我們認为对于有大量泥砂的河流，攔河壩可做成活动壩的形式，或留几个較大的缺口，以便冲砂。

二、水工建筑物

小型水电站的水工建筑物应該簡單、經济、实用，并能就地取材，上述小型水电厂大多数是符合这些条件的。例如作为擋水結構的攔河壩大都是石砌的滾水重力壩，而石料可在附近取得。中江水电厂將砌石重力壩壩体部分砌条石代以干砌塊石，同时壩基也用透水的木框石塊，以節省建造費用，如圖5。当然这种壩是漏水的，对于僅自大河中引用少量水时是合適的。若不必过分抬高水位引水，也可以用臨时性的攔水建筑物。如崇慶縣西門电厂只在河中打木樁然后攔以竹籬，而利用木樁攔阻洪水时期淌下的柴木成为天然的擋水建筑物。臨时性的擋水壩在有些情况下是不好的。例如用于灌溉渠道上的低水头引水式电站的溢水堰（見圖1），有的地方用竹簍石塊做成，由于竹簍露在水面上極易腐爛，在洪水时期也易冲坏，故必須每年換一次，这样就增加了年修理維护費。例如新繁水电厂的支出每年达600多元。在这些地方应用較永久性的建筑物，以省去每年的巨大支出。如郫縣水电厂的溢水堰，基礎系用木框石塊，上面为木樁閘板，每年几乎不需要修理(見圖6)。木框石塊作为水工部分是很合適的，因为木材在水中既耐久又耐冲。

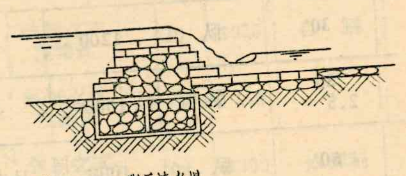


图 5. 砌石滾水壩

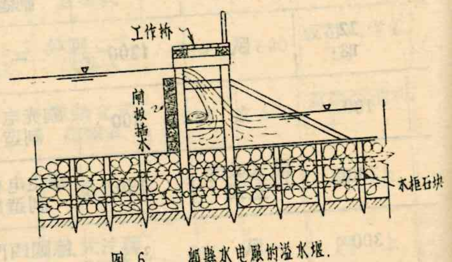


图 6. 郫縣水电厰的溢水堰.

100瓩以下小电厂的渠首建筑物都是很簡單的或是臨时性的，当洪水來时，就在渠首橫几根木头或放下插木，以減少流入渠道的流量，無冲砂設备；100瓩以上的电厂則有較正規的進水閘与冲砂閘，都是石砌的，閘門都是平板木閘門。臨时性的渠首建筑物，在洪水來得快时，不能調節流量，所以对于自洪水变化較大、洪水來得較快的河流上引水的渠道，最好有簡單的渠首建筑物；至于冲砂設备，則視河流含砂量的多寡而定。三台水电厂的渠道由于洪水淹入，淤積嚴重，所以預防攜帶大量泥砂的洪水進入渠道是很重要的。

引水渠道有的是土渠，有的是石渠，都未加襯砌。未加襯砌的土渠容易長草，中江水电厂的土渠每年都要花很大的力量除草，是否应加襯砌（可加三合土襯砌）应通过經济比較來确定（电厂設备容量过大，渠道經常流速在0.7秒公尺以下，可能也是易長草的原因之一）。石砌渠道有时易長苔蘚与堆積貝殼，每年都須清除一次。万縣电厂就是一例。还有高水头引水式电厂的渠道，由于渠綫边坡太陡，常發生坍方事件，这是很危險的。

三、厂房結構及其布置

厂房結構分水上部分与水下部分，上部結構一般采用磚石結構，有些小电厂全部用木結構。水下部分大多用条石砌筑，少数是用混凝土建筑的。厂房基礎一般为砂壤土，大都打有木樁，其中崇慶縣元通水电厂的基礎吸取了羣众造房子的經驗，采用木条基礎，節省了石料，它的基礎平面及剖面見圖7。木条的作用为防基礎的冲刷及使压力分布均勻。基礎土壤为砂与乱石。



图 7. 元通水电厰的木条基礎.

很多小电厂对于厂房形式很不講究，缺乏正确与合理的布置，这与利用旧建筑材料有关，但也应尽量造得整齐些。

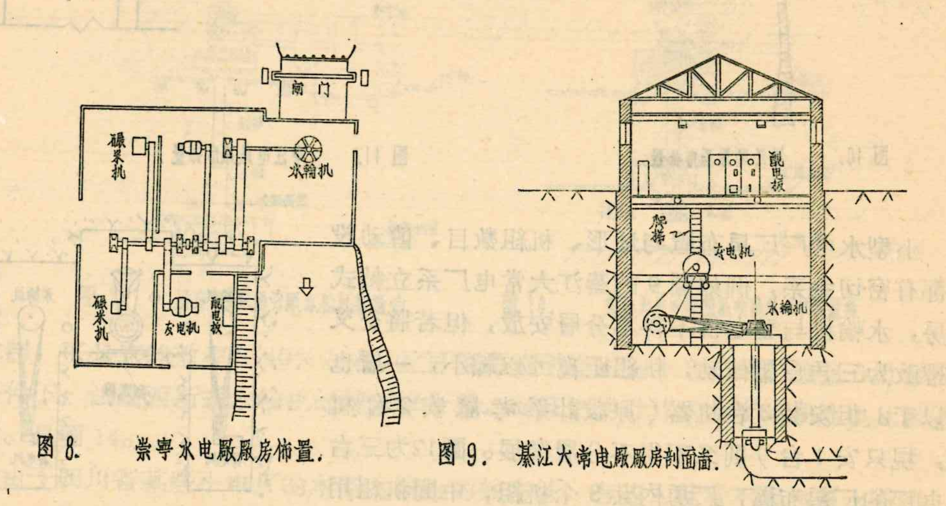


图 8. 崇寧水电厰厰房佈置.　　图 9. 綦江大常电厰厰房剖面.

很多小电厂对于厂房內的布置不很注意，使得运轉不便。圖8为崇寧水电厂的厂房布置，人从發电机走到水輪机必須跨过傳动軸，非常不便而且危險；同时調節流量的閘門又裝在厂房外面，調節流量时根本看不到配电板上的儀表，所以非要兩个值班人員不可。圖9为綦江大常水电厂的厂房縱剖面圖，第一層为水輪机室，第二層为發电机室，第三層为配电盤室。人自第三層到第一層是通过一个釘在牆上的鉄馬爬梯，也是非常不便，而且危險。运轉时，3个人分在一、二、三層楼上，很不方便（现在2人运轉），而且發电机層無楼板，只有几条放發电机的梁，人站在上面非常危險。这种借口省錢而不顧运轉时工人安全的情况，亟应改善。还有很多厂房布置太挤，机器离牆壁的距离非常近，甚至人也走不过去。我們認为小电厂厂房造价不貴，应在保証运轉安全的条件下省錢。此外，有的碾米加工与發电相結合的小型电厂，最好加工間与發电間隔开，以免灰塵損害發电机与配电板。

單机組水电厂厂房內的布置以温江电厂与中江电厂較好，它的特点是一个运轉人員能照顧全面（溫江电厂厂房結構不很規則，用閘門調速，閘門在厂房內；中江电厂有二个机組，有自动調速儀，现僅就其一个机組而言的厂房布置）。如圖10及圖11。

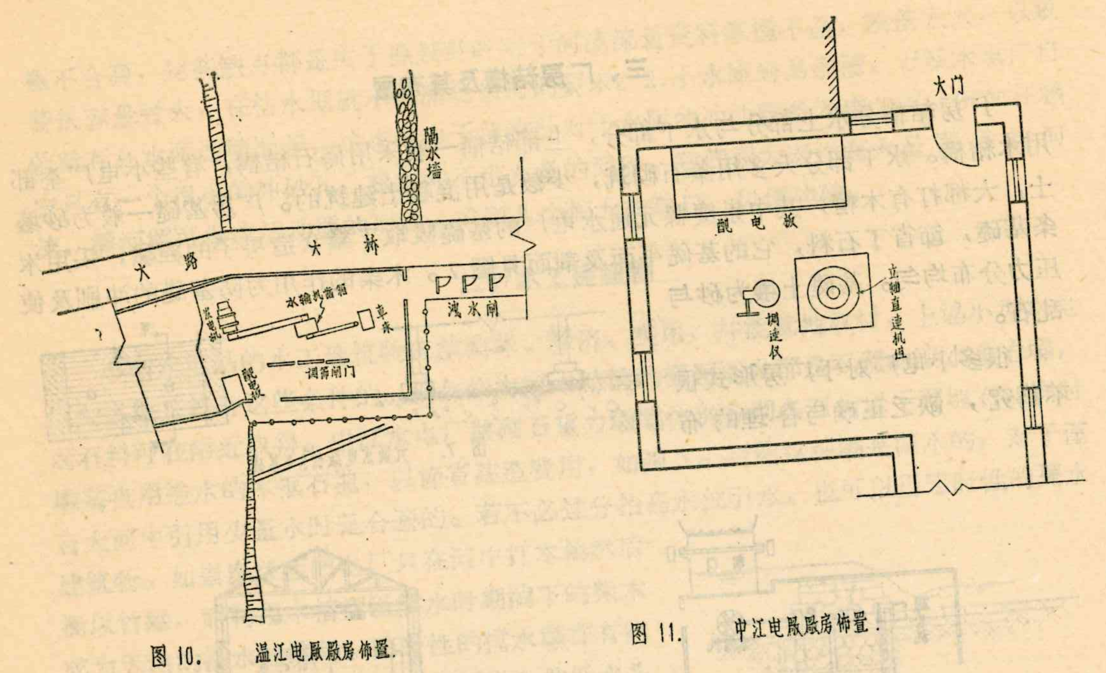


图10. 温江电厰厰房佈置.　图11. 中江电厰厰房佈置.

小型水电厂厂房布置与地形、机組数目、傳动設备都有密切关系，例如圖9的綦江大常电厂系立帖式厂房，水輪机与發电机不得不分層安放，但若將交叉皮帶改为三角皮帶傳动，機組距离可以縮小，一層也可以了。但安裝3台机器（原設計系考慮安2台机器，現只安1台）則又不得不分層發展。圖12为三台水电厂的厂房布置，厂房內共3个机組，中間机組用三角皮帶傳动，其它2机組用半交叉的平皮帶傳动，可見三角皮帶傳动所占面積比半交叉皮帶要小，厂房布置也較緊湊，尤其三台水电厂的厂房地基系自岩石中开挖出來，更应使厂房尽量减小，以節約开石方。現該厂正准备將其它2机組也改用三角皮帶傳动。

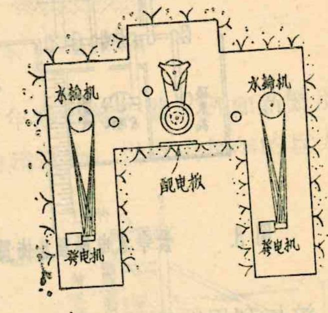


图12. 三台水电厰厰房佈置.

四、水力机械設备

現分別以水輪机軸承、潤滑冷却系統、傳动設备、水輪机室与尾水管等部分叙述如下：

（甲）水輪机軸承及其潤滑冷却系統：水輪机型式有木質旋槳式水輪机、木質法蘭西斯水輪机、鉄制旋槳式水輪机、鉄制法蘭西斯水輪机（立式与臥式）及鉄制卡普蘭式(活动輪叶的旋槳式)水輪机，这些水輪机大部分是解放前的重慶上海机器厂(今重慶柴油机厂)和成都几家机械厂与鉄工厂制造的。木質水輪机則为当地制造。由于我國目前水輪机制造技術水平低，水輪机效率一般不高，大的鉄制水輪机的效率在50～70%左右，木制水輪机只有20～30%。这些电厂大部分是發电机容量大于水輪机容量，同时有的电厂冬季枯水期或灌溉季節頗感流量不足，所以提高这些电厂的水輪

机效率是一个重要問題。

木質水輪机效率低的原因：

（1）輪叶叶片加工粗糙，当水通过叶片間的空隙时，水头損失增大。

（2）沒有按照水头流量选擇合適的水輪机，因而轉速低，傳动齒輪笨重，能量損失增加。如崇慶縣元通电厂水头为3.0公尺，流量3.5秒公方，出力僅13瓩（充分利用后应为75瓩），采用木制法蘭西斯式水輪机的結果，直徑达1.5公尺，傳动齒輪直徑达1.4公尺，非常笨重，同时它的主軸的一部分为木制，下部衛軸承系利用四根木头夾住中間木軸，摩擦面很大，能量損失当然也大，估計效率僅20%（見圖13）。

（3）制造水輪机时，由于沒有試驗，所以叶片角度与曲度不適合，也是造成效率低的主要原因。大邑縣大邑中学附屬电厂的水輪机也是木制法蘭西斯式，傳动輪也

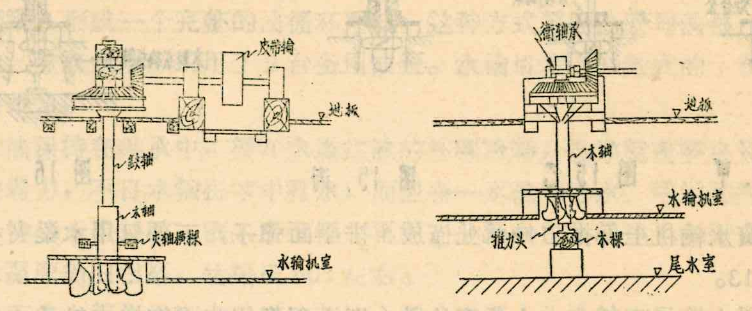


图13 崇庆电厰元通分厰水輪机装置图.　图14. 安仁大邑中学附属电厰水輪机装置图.

是木制，可是它的效率在40%左右，这可能是由于在水头1.5公尺、流量0.8秒公方的条件下，法蘭西斯式水輪机运轉效率平穩，而且它的叶片的曲度与角度也比較合適所致。見圖14。

由于四川省某些小电厂的木制水輪机的效率低，有些人就看不起木質水輪机，这是不正确的。由大邑中学附屬电厂的水輪机情况來看，效率不見得特别低，尤其今后可以按照苏联木質旋槳式水輪机的制造方法來制造，效率可以达70%，而木質水輪机的优点在于構造簡單，可以就地制造，節省金屬，造价低廉，適合于目前我國農村的經济情况，应大力推廣。

目前鉄制水輪机效率也不高，因为一般鉄工厂或机械工厂缺乏水輪机制造的技術資料，所制造的水輪机不一定適合于將來的运轉条件，同时制造技術低，造成运轉中的不良現象。如崇寧、新津、新繁等电厂由于水輪机叶片輕重不一，运轉不穩定，軸承受到損坏，每年付出很多修理費。

很多电厂为提高出力、改善效率，做了一些工作，例如增加導叶高度（有的取去几片導叶），以增大过水能力；加大或加長叶片，以减少轉輪与尾水管頸壁的間隙；有的电厂將轉子稍为提高些，增加了出力，这是由于运轉期間轉子下沉，安裝位置变动所致；有的改進了傳动裝置、軸承、尾水管等等。

水輪机的軸承一直是使很多小电厂头痛的問題，总結所調查的小电厂的軸承型式及其安裝位置，大致有下列几种：

1. 上部推力軸承处安放平面滚珠与徑向滚珠共二排，或僅放一排錐形圓輥，以承

受垂直方向与横向之力。下部接近水輪机盖板处，安放金屬衛軸承如圖 15 甲或木衛軸承如圖 15 乙。这样形成 2 个支承点。

2.同上，但在中間再加 1 衛軸承，共有 3 个支承点，在軸較長（如达 4 公尺）时采用。

3.同1,但在底部加 1 支承点，如圖 16。

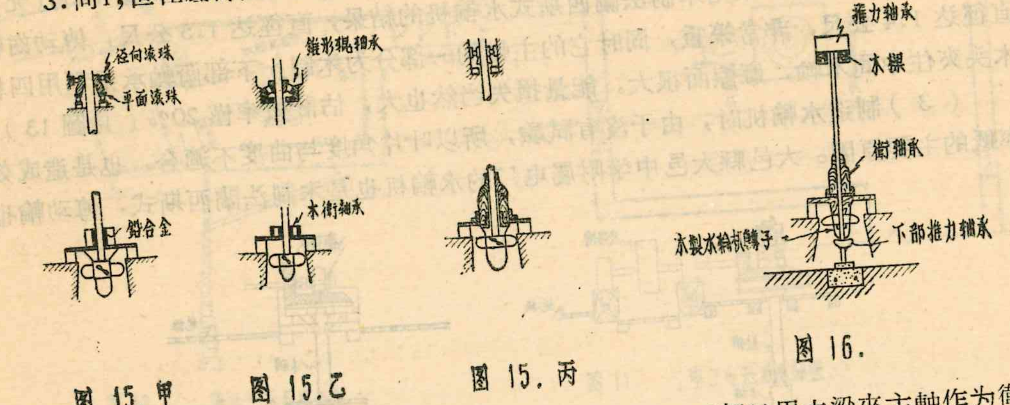


图 15.甲　图 15.乙　图 15.丙　图 16.

4.木質水輪机上部推力軸承处僅放 1 排平面彈子，下部只用木梁夾主軸作为衛軸承，如圖 13。

5.木質水輪机下部有 1 六角形的鉄（旧水碾都用此式作推力軸承），用一角支住木軸頂端，作为推力軸承，这样，6 只角輪換使用。上部用一排徑向滾珠作为衛軸承，如圖 14。

6.容量在 100 瓩以上的臥式法蘭西斯水輪机采用軸瓦，軸瓦材料为鉛合金，可以自己澆制，据使用者談，这种軸承適合于重量大、轉速慢的情况。

以上各种軸承形式，根据电厂运轉情況，我們得出以下几点意見：

1.上部推力軸承处最好放二排滾珠，一为平面滾珠，一为徑向滾珠（或采用錐形輥軸承如圖 15 乙所示），如果沒有徑向滾珠，則当軸旋轉稍为不平穩时，平面滾珠很易磨損，幷可能引起穩定平面滾珠的網座圈也磨損。新津水电厂由于滾珠磨損座圈，結果在运轉中彈子跳出。

2.下部接近水輪机处的衛軸承采用如圖 15 乙或 15 丙的形式較好，我們認为在某些情況下 15 丙比 15 乙更好。因为 15 甲为軸与金屬摩擦，当有泥砂進入时，軸極易磨坏，若为圖 15 乙，則当木头磨損时，只要換一下就可以了，既方便又省錢，但当有泥沙進入时，軸也不免受損，因而在圖 15 甲与 15 乙的下部衛軸承处往往在軸外加 1 銅套，以防止軸磨損之用，这也是某些电厂所得的教訓。圖 15 丙是另一种方式的鉄與木头摩擦，好处为軸不会磨損，同时这个衛軸承又有一部分推力的作用。很多电厂采用这种方式，运轉情況良好。

3.某些电厂曾采用过下部推力軸承（如圖 16）与上部推力軸承幷用的方式，幷証明这种方式沒有引起較大的能量損失，因此在某些用木梁作为支座的情况下，为了減少木梁弯曲的变形，可以增設下部推力軸承，以分担垂直方向的重量。但我們認为在一般情況下，下部推力軸承可以不要，因为它或多或少地增加了能量損失，同时增加

了設备。

軸承受到損坏的原因：1.潤滑与冷却不好，因而軸承滾珠或軸瓦極易磨損；2.水輪机安裝不好，轉动不平穩，軸承受力不均，造成損坏；3.傳动皮帶拉力作用点与軸承距离过大（懸臂过長），軸承容易損坏。以上各点，以潤滑与冷却的影响最大。

小容量而且运轉时間不長（只有晚上用 6 ～ 7 小时）的电厂無潤滑与冷却系統，只在运轉前檢查一下幷加足油就可以了，因为这些电厂的水輪机轉速很慢，重量輕，运轉时間短，故發热不大。但这类电厂往往沒有很好的防止漏油的軟垫，因此漏油嚴重，軸承極易損坏，油的損耗量很大。容量較大的电厂（100 瓩以上的）在油潤滑与冷却方面較为注意，油潤滑与冷却的方式有下列几种：

1. 潤滑油潤滑軸承以后，用油管通过在水輪机室中的水冷却，同时用油泵重新打到軸承中潤滑，形成一个完整的油循环系統，这种方式需要油管与油泵，而且油泵必須有备用的，遂寧水电厂采用了 2 台备用油泵。水輪机室（开敞式的）在这里作为一个天然的冷却器。

2. 潤滑油保持在軸承中，循环水通过油的外圍冷却，这样就需要水管与水泵，为減少水泵的馬力，不自水輪机室中打水，而另备一水桶存冷水，用过的热水則存在另一水桶中，待热水冷却后，倒入冷水桶中再用，达縣电厂由于热水未經充分冷却又來使用，軸承溫度仍旧很高，达攝氏 80° 左右。

3. 利用压力水管中的压力水來冷却油，这是在高水头电站中用的。

4. 不利用油泵，而用自动打油裝置使油循环。它的方法是通过軸承潤滑的油讓它沿軸流下，漏下的油由于离心力而撒入下部一个容器里，另外有一根斜油管使它的一端浸在这个容器的油里，另一端則伸到軸承上方，对准軸承，当軸轉动时，容器与它一起轉动，因此斜油管浸在容器里的一端与容器里的油產生了相对运动，油就由容器經过油管自动地落入上部的軸承中。这种方式很簡單，同时可以防止油的漏失（如圖 17 所示）。



图 17. 自动打油装置示意畫.

（乙）傳动設备：傳动設备有齒輪皮帶二次傳动、三角皮帶一次傳动、半交叉皮帶一次傳动、齒輪一次傳动与直接联动等几种，而以齒輪皮帶二次傳动为最多。現就各种傳动設备的工作情况叙述于下：

1. 齒輪皮帶二次傳动：水平的大齒輪一般都用木制的（苦蔗、槐樹、檬子、桂花等木料來做齒），直角齒都用鉄齒，使木齒与鉄齒接触，由于木齒有些彈性，接触稍微不良，还不会發生打坏齒的現象，就是木齒坏了，只要換上一个就可以了，一般电厂一年要用 4 盤木齒。也有用二个都是鉄齒輪的电厂，运轉經驗是二个鉄齒輪也是可以的，主要是运轉必須平穩，当运轉不平穩时，鉄齒也很易損坏，而且換起來价錢較貴。当运轉平穩时，可以整年不換，但鉄齒最好有齒箱，以免鉄齒打碎时，运轉人員受到損伤。我們的意見是小电厂用木齒还是經济的，可以推廣。例如換一个鉄齒要10多元，換一个木齒則只要 1 元，就是 1 年換 4 次木齒，也只用 4 元。齒輪皮帶二次傳动的缺点就是傳动效率低，而且容易出事故。

2. 半交叉皮帶傳动：半交叉皮帶傳动的主要缺点是当水輪机与發电机的相对位置安裝不好时，运轉很不平穩，常常会發生滑帶事故，皮帶很易損坏。至于傳动效率則比齒輪皮帶二次傳动为高。

3. 三角皮帶傳动：这是一种最好的傳动設备，运轉平穩，水輪机与發电机間的距离可以縮短很多，比用交叉皮帶經济（如圖 12 所示），有的电厂为改用三角皮帶傳动，將臥式發电机改为立式。

4. 齒輪一次傳动：只有一个电厂用人字鉄齒联动立式水輪机与立式發电机，据說用人字鉄齒承受力量大些（容量为 162 瓩）。

由上可知，在立式水輪机与立式發电机間的傳动最好用三角皮帶，將臥式發电机改为立式發电机而采用三角皮帶傳动，对容量較大的电厂还是一个好办法。立式水輪机与臥式發电机間的傳动应該考慮采用半交叉皮帶，而事实上很多电厂是可以將齒輪皮帶二次傳动改为半交叉皮帶一次傳动，只有傳动比数很大的电厂如傳动比数达 1：10 及 1：30 的电厂是不可能的。

（丙）調速設备：調速設备有閘門調速、手动調速儀（調整導叶的角度）、帶有旋轉外罩的手动調速儀（導叶不动）及自动調速儀四种。用閘門作为調速設备的电厂都是只供晚上照明用电的，而且很多是包灯，負荷变化不大。但是这种办法是不好的，因为負荷变化时，閘門調節很不灵敏，以致电压跳动較大，用电質量不好。在这方面必須把閘門做得灵活些。有压力水管的电厂利用压力水管進入水輪机前的滑动閥或蝴蝶閥來操作是比較輕便的，当然水力情况是不好的，尤其当用蝴蝶閥操作时，水力情况更坏。低水头电厂一般用平板木閘門，用螺絲杆啓閉操作，非常不便，有时就不能進行調節，只能使它保持一定开度。溫江电厂采用手推旋轉关閉的木閘門，比較輕便些，它的水头为 1.5 公尺左右，閘門寬度为 1 公尺多一点（見圖 18）。当閘門开到某一开度时，必須用細子將把手拉住，以免水压力將門重新关上。

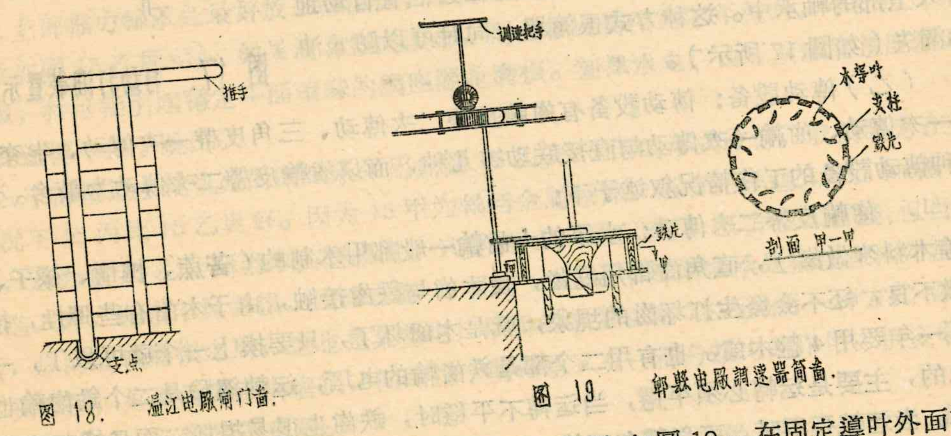


图 18. 溫江电厰閘门图.　　圖 19 郫縣电厰調速器简图.

帶有旋轉外罩的自动調速儀只有郫縣水电厂采用，如圖 19。在固定導叶外面有一圈鉄片做的門，鉄片系固定于上下 2 个鉄环上，利用齒輪傳动，使上鉄环旋轉，則鉄片門也跟着移动，進水閘門也隨着發生变化。

自动調速儀（調整導叶开度）都在具有鉄導叶的鉄制水輪机上应用，只有一个电

厂有自动調速儀不好使用，經过电厂工人反复試驗改造以后，工作情况良好。

（丁）水輪机室与尾水管：水輪机室与尾水管的好坏对于机組效率的影响很大，一般电厂的改進不多。这些电厂多半是用开敞式水輪机室与直立圓錐形尾水管（只有高水头电厂的臥式水輪机才用蝸壳水輪机室与弯曲尾管）。

开敞式水輪机室一般为矩形，为了使水流情况好些，有的是多角形的，如圖 21 所示。水輪机室后面用擋板擋住，再進一步地做成开敞式蝸壳形，如圖 20 所示。

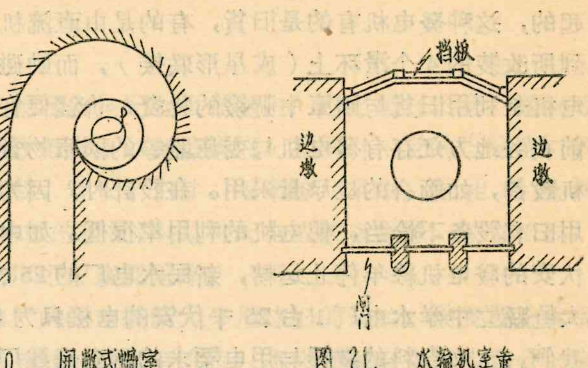
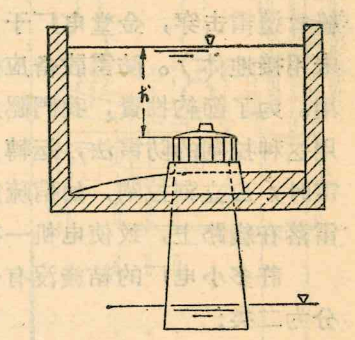


图 20. 開敞式蝸室　　图 21. 水輪机室

顯然，后者比前者效率为好，如做成如圖 22 的室底有斜坡的开敞式蝸室，則效率更高，事实上为減少开敞式蝸室的尺寸，不必如圖 20 做成封閉式的，而包圍角 φ 可采用 250°—270°。

开敞式水輪机室应有一定的寬度与長度，一般应該等于（3～4）D_1（D_1为轉輪直徑），同时在水輪机盖板上的水深 h'（如圖 22 所示），按規定应为 $(0.9\sim1.0)D_1$，但这些数字，某些电厂都用得太小，如崇寧水电厂水头 1.8 公尺，流量为 3～4 秒公方，容量为 4 瓩，水輪机直徑为 1.6 公尺，水輪室应有 5 公尺左右寬，而实际上只有 3 公尺左右寬。同样水輪机盖板以上水深应有 1.5 公尺左右，实际上僅有 0.5 公尺左右。因为水深不够，往往進入空气，降低效率。



尾水管不合規格的也很多，有的尾水管無擴散角度。有的尾水管很短，而尾水管出口离尾水室底过矮。如崇寧电厂尾水管只有 0.6 公尺長（水輪机轉子的高度也为 0.6 公尺），尾水管出口离底只有 0.45 公尺（按理这个距离不得小于水輪机轉輪直徑，最好 $=1.5D_1$）。

图 22. 室底有斜坡的開敞式蝸室

有的电厂沒有尾水管，但它的出力大于負荷所要求的，所以沒有尾水管也無問題。但效率很低，如今后負荷要求增長时，則必須加裝尾水管。

最后，个別电厂存在着水輪机的空蝕問題（高水头电厂），空蝕現象一般發生在半負荷或較大的时候。若按吸出高來計算，是不应發生空蝕的，这主要是水輪机制造上的問題。如大竹水电厂原來用一个 1,000 轉/分的旋槳式水輪机，空蝕現象很嚴重，后來換了一个 1,500 轉/分的旋槳式水輪机，空蝕現象反而沒有了（照理轉速愈高，空蝕应愈嚴重）。

五、發电廠的电气設备

我們所調查的各个电厂，容量在 50 瓩以下的，一般設备很簡陋，都是在就地取材

的原则下裝备起來的。因此有設备缺少与不合规格的問題存在。發电机大多是三相交流敞露臥軸式，只有中江与万縣电厂各1台是立式的。發电机的出綫紐电压大多是380/220伏，电机容量如万縣、雅安、遂寧、中江、白沙等厂自100～350千伏安，其余都在100千伏安以下，而20～30千伏安的占多数。励磁机是与發电机的軸連在一起的，这种發电机有的是旧貨，有的是由直流机改裝的，就是將直流机轉子的繞組接到所改裝的4个滑环上（成星形联接），而励磁电流仍由原有的整流子供給。由于發电机是利用旧貨与國庫中調撥的物資，价錢便宜，可使电厂設备的投資大大減少。目前在各地方还存有發电机与变压器等的國庫物資，因此在設厂前最好先了解國庫的电机設备，如適合的应尽量采用。在設計时，因为对水能与用电要求估計得不准确与利用旧有設备不恰当，使电机的利用率很低。如中江水电厂有2台电机，其中1台75千伏安的發电机終年停止运轉，新民水电厂的25千伏安的电机只供給2.3瓩的照明。大邑縣立中学水电厂1台25千伏安的电机只为5瓩的中学照明發电。这个經驗告訴我們，水文資料的掌握与用电要求的調查是建厂前的一項重要工作。

發电厂的保护設备，一般都很差，許多小电厂沒有避雷器，就是有的話，也不过是三个20公分的間隙，实际上这样的間隙对低压綫根本起不了保护作用，变成了一种形式。雅安、万縣、三台、白沙、遂寧、金堂諸电厂在送电端裝了一套閥型避雷器。由于避雷器缺乏定期檢查与接地不良，雷击現象依然存在。如雅安一厂發电机一相絕緣曾遭雷击穿，金堂电厂于1954年遭雷击穿一相（原因是接地不良，導綫直接接地未用接地体）。防雷設备应做到每年雷电季節前的定期檢查并認为合乎标准的才可用。为了節約投資，我們認为容量不大的小型水电站可以用拉閘的方法來防雷，不过用这种拉閘的防雷法，运轉人員对天气的变化要很好的掌握，当烏云密布不久就要打雷时，应立刻拉閘，如稍疏忽，电厂就易遭电击。如郫縣电厂在1953年7月突然一个雷落在綫路上，致使电机一相繞組击毁。

許多小电厂的結綫沒有一定的标准，这与設备和技術都有关系。結綫情况大致可分为二类：

（1）正規的。这类結綫經过設計，基本上是合理的，如万縣、雅安、遂寧等較大的电厂；

（2）缺少必要的儀表并有些原則性錯誤的。因为电厂經費少，領導不重視，憑电气工人來运行，时常改变結綫。如圖23，从發电机出來，应該依次接电流表、电压表、开关，然后接熔断器，这样电压表所測的發电机电压不受开关拉断的影响。熔断体断后，可拉开閘刀再行換接，單只电压表应裝电压換接开关以測三相电压。在接电压表的綫上应裝

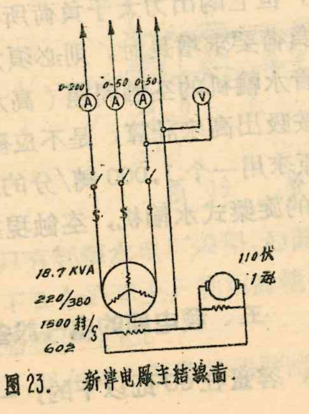


圖23. 新津电厰主結線畫.

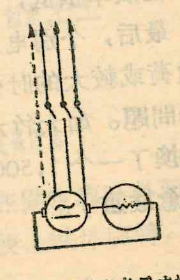


圖24. 崇庆西门电厰主結線畫.

保險絲。励磁机至少应裝一个电压表，这些設备花錢不多。这种問題在各小电厂里是或多或少存在着的，有些电厂从發电机出來后除开关外什么也沒有。有些电厂儀表很少，而且不能用，如圖24，这样就得不到負荷記錄，因此对生產計划、擴大用戶、保証用电質量就無法進行。因为沒有保險設备，在外界綫路發生短路时，电机的安全也沒有保証。

配电設备分二类：

（1）成套配电設备：儀表及控制設备与配电板在制造厂內已裝好成套，搬到發电厂裝起就可用。由于成套配电板的設备齐全，制造講究，且須付一定的运輸費，故价格較貴，所以只有較大的电厂如万縣、雅安、白沙、遂寧等厂采用。配电板分鉄板、大理石板与木板三种。圖25为木板的裝配圖，这种配电板設备簡單，較有标准，价錢低廉，在100瓩以下的小型水电厂可以廣泛采用。

（2）利用旧貨就地裝配：小电厂的配电裝置大多用陈旧的开关、儀表裝上木板而成，所以木板因儀表与开关的数量与尺寸而各有大小，木板厚度自1～4公分。安裝形式有屏形（如圖26）、櫃形（如圖27）、壁形（如圖28）等。

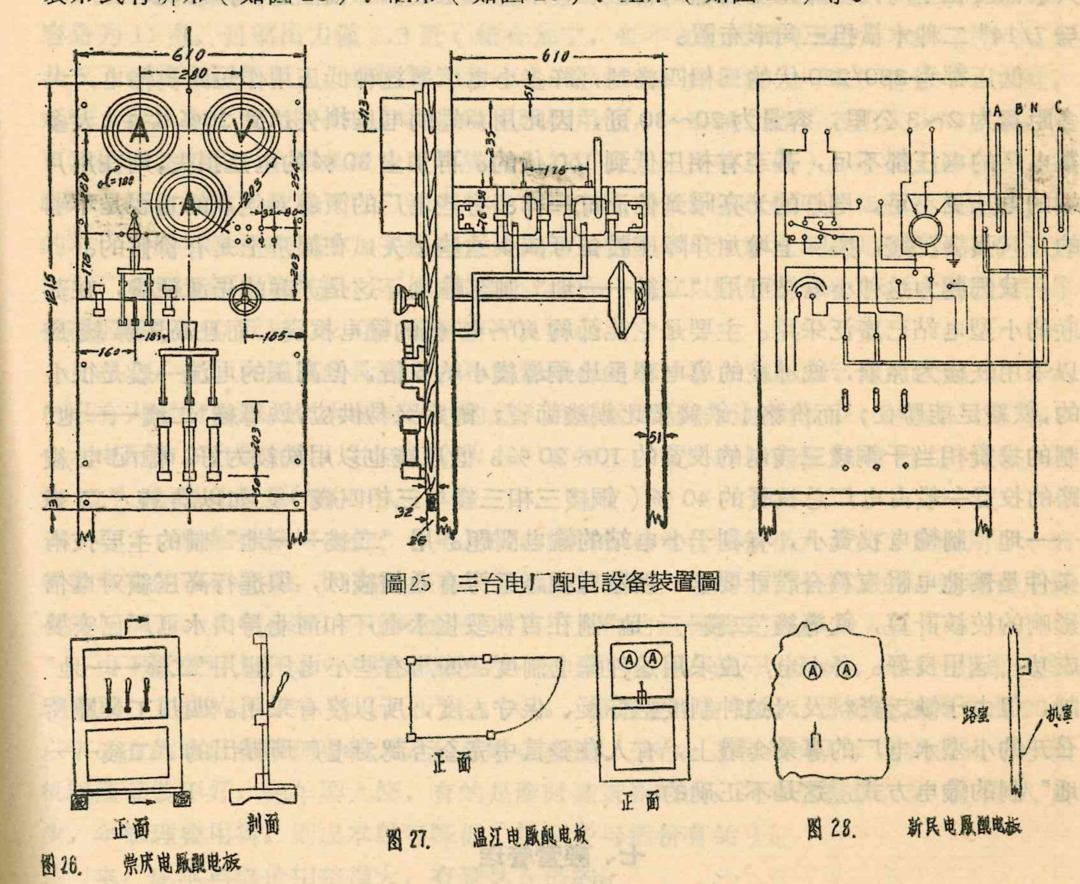


圖25 三台电厂配电設备裝置圖

圖26. 崇庆电厰配电板

圖27. 温江电厰配电板

圖28. 新民电厰配电板

这些配电板的接綫都很雜乱，对檢查事故很不方便。

自动裝置在小电厂中很少采用，只有遂寧电厂采用了一些，如振动式电压調整器、危險指示灯等（如圖29），这些設备都是自制的，花錢少，效果好。該电厂自改

進設备后，每班运轉人員从6人減少到2人，而且运轉情况比以前好。这种簡單的自动化設备应該推廣。

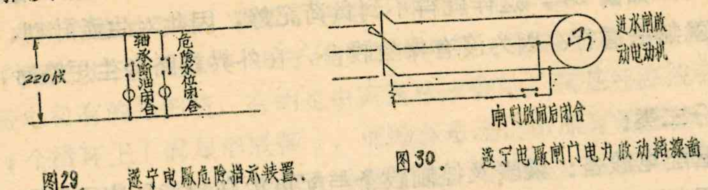


图29. 遂宁电厰危險指示裝置.　　图30. 遂宁电厰閘门电力啟动結線圖

六、輸配电綫路

万縣电厂輸电电压采用3.5千伏，輸送功率为450瓩，距离为20公里，其他各电厂的高压有6.6千伏的，还有3.3千伏和2.3千伏的，这种电压的送电容量一般为150瓩以下，距离为10公里以內，电压損失約15%左右。3.3千伏与2.3千伏为非标准电压，采用这种电压的都是建立很久的电厂。升压变压器除个别电站放在室外，其余都放在室內，但降压变压器却都放在H形杆架上。以三相輸送，導綫大多为7/12#与7/14#二种木横担三角形布置。

低压都为380/220伏的三相四綫制，許多小电厂將这种低压用作短距离輸电，大多距离为2～3公里，容量为20～30瓩，因此用戶端的电压損失达到30%左右，大多数电厂的电压都不足，甚至有相压低到160伏的。再加上30%的电压損失，則在用戶端的电压更不足，电灯的光亮暗到像油灯一样。有些电厂的領導对这点的重視是不够的，只强調沒錢，实际上增加升降压設备可減少这些損失，在經济上是有价值的。

我們認为这种小电站可用“二綫——地”制來輸电，这是苏联的先進經驗，在苏联的小型电站已廣泛采用。主要是它能節約40～45%的輸电投資。而且高压導綫应以采用鉄綫为原則，鉄導綫的導电率虽比銅導綫小約6倍，但高压的电流一般是很小的，鉄綫足能勝任；而价格上鉄綫要比銅綫節省；國家又易供应，鉄導綫“二綫——地”制的投資相当于銅綫三綫制的投資的10～20%。低压綫也以用鉄綫为好。輸配电綫路的投資一般占电厂总投資的40%（銅綫三相三綫与三相四綫），如以鉄綫“二綫——地”制輸电投資小，有利于小电站的輸电問題。用“二綫——地”制的主要技術条件是接地电阻应符合設計要求。如輸电綫路近旁有通信綫时，須進行高压綫对电信影响的校核計算，鉄導綫“二綫——地”制在吉林敦化水电厂和河北房山水电厂已安裝成功，运用良好。各小电厂应采用这种輸电制度。四川有些小电厂想用“二綫——地”制，但由于缺乏資料及对这种制度抱怀疑、保守态度，所以沒有采用。四川工業廳所召开的小型水电厂的專業会議上，有人在發言中完全否認对电厂所提出的“二綫——地”制的輸电方式，这是不正确的。

七、經营管理

（1）經营方式：这些电厂除2个地方合营（私股很少）者外，一般都是地方國营、省屬國营（省屬國营的有二个），地方國营电厂都由縣財委、工商科或縣工業企業公司担任行政領導，由省工業廳担任技術領導，同时对某些技術問題以大厂帶小厂

的方法來解决。

这些电厂大都是公家投資或是私人投資建造的。今后随着農業合作化运动的發展，只有貫徹民办公助的方針，才能运用羣众的資金、降低造价、減少專職运轉人員、降低运轉費用，發揮羣众对电厂的監督，使电厂更好地为羣众服务。目前地方國营电厂存在的缺点是：供电質量低、营利观点較重、运轉費用較大。例如有的电厂在供不应求时，灯光暗淡，而收費照常，有的电厂电价大于成本3、4倍，有的电厂專職运轉人員过多。如由羣众自办与羣众管理，这些缺点是容易消除的。

（2）电厂人員：电厂人員（包括直接与間接运轉人員）数目主要是与电厂容量、电厂布置与設备、机組数目、运轉制度及是否有加工、是否有火电厂等条件有关。一般說來，电厂人員有过多現象。例如雅安水电厂直接生產人員有38人（300瓩單机組），其中厂內运轉17人，厂外綫路13人，水泵班及修理8人，每天运轉24小时，3班制，每班运轉人員4人。遂寧水电厂用人較合理（162瓩單机組），直接运轉人員为7人，三班制，每班2人，其他1人領導生產并作为輪流休息的替換。这是由于他們注意降低运轉費用、努力改進厂房布置与机械設备的結果。大邑新民水电厂容量为11瓩，目前出力僅2.3瓩（結合加工，每年加工时間不長），电厂工作人員共6人，其中厂長1人，我們認为还过多。温江电厂舒家渡分厂电厂容量7～8瓩，运轉人員只有1人，兩个电厂都是晚上照明用电，一班制。而后者用人少的原因，除了無碾米加工外，主要是減少了外綫工人与厂長（厂長兼总务）。事实上只有晚上运轉的电厂，运轉人員白天可以進行收費、檢查等工作。还有的电厂机組数目过多，有的电厂布置不合理等也增加了运轉人員，如三台电厂与崇寧电厂都是这样。我們認为小电厂应尽量采用單机組，不但可以降低造价，也可以降低运轉費用。这里最大的單机組容量为300瓩与162瓩，运轉情况良好。

总之，电厂人員应尽量減少，与加工結合的电厂在加工上应尽量用臨时工，有水电又有火电的电厂，則水电与火电的总人数应互相配合而減到最少（如温江电厂有3个水电厂与2台煤气机，并且1个水电厂有加工，电厂的总容量为82瓩左右，总人数为15人，这是比較經济的）。

（3）电能指标与电价：各电厂的电能指标与电价相差很大，如下頁表所示（表中数字有的不很准确，因为很多电厂是解放前造的，它的造价是折算的。运轉費用則有的与加工、火电合并，不能很清楚地算出水电的运轉費究为多少）。

由下頁表可知在水电厂的运轉費中一般以工資所占成分为最大，其次为折旧与修理費用，工資約占30～40%，折旧占30%，修理費用占20%，办公費及其它占20%以下。有的电厂年修理費較大，如崇寧、崇慶、三台、新津等电厂，有的是由于水輪机制造安裝不好，每年要大修，有的是臨时建筑物較多，每年要整理，若运轉人員少，年修理費用省，則成本就可降低（折旧費与造价有关）。

电厂成本与电价相差很大，有到达6倍的。

在每裝机瓩的投資費用上也可看出，有的电厂很便宜，如崇慶縣元通电厂只有272元，有的很貴，如中江水电厂达2,300元，一般容量較大的有高压輸电綫路的引水式电厂屬于此类。崇慶縣二个电厂造价便宜的原因，是利用了旧有的物資（旧料、

电厂名称	容量（瓩）	年發电量（度）	水电站的建造費用（元）				水电站的年运轉費用（元/年）						成本（元/度）	实售电价（元/度）	每裝机瓩价值（元/瓩）
			土木建筑	机电設备	輸电綫路	總投資（元）	人員工資	办公費	修理費	折旧費	其它	總运轉費			
新民水电厂	11.0	3,000	33%	53%	14%	7,500	74%	8.45%	3.5%	10.5%	3.5%	2,840元	0.9500	0.70	680
新津水电厂	19.8	17,300	34%	34.3%	31.7%	31,191	31.9%		26.52%	33%	12.5元	4,000元	0.2300	0.53	1,580
东溪水电厂	16.0	23,000	16%	64.5%	19.5%	14,373	46.8%	7.5%	5.5%	27.6%	12.7%	3,693元	0.1876	0.40	900
溫江水电厂南关分厂	26.38	23,599	35.0%	53.0%	12.0%	10,380	20.2%	1.8%	1.3%	60%	5%	2,008元	0.0850	0.50	400
崇寧水电厂	21.0	25,500	18.0%	50.0%	32.0%	36,233	28.7%	5.2%	50.6%	14.5%	1%	9,886元	0.3800	0.40	1,700
金堂水电厂	45.0	105,541	20.0%	25.0%	55.0%	44,858	45%	0.8%	9.3%	31%	9.6%	8,076元	0.08	0.37	1,000
綦江水电厂	50.0	69,000	54.3%	22.3%	23.4%	63,006	27.1%	10%	8.15%	27.5%	27.2%	9,561元	0.1591	0.375	1,250
崇慶西門电厂	60	40,000	28.6%	24.8%	28.6%	28,000	29.4%	0.68%	30.2%	17%	22.6%	5,296元	0.110	0.333	470
崇慶元通电厂	18	27,600	22.5%	57.0%	20.5%	4,900								0.333	272
大竹新建电厂	74	166,000	24.6%	41.0%	34.4%	81,585	45.0%	1.42%	13.5%	34.3%	5.78%	10,148元	0.08987	0.20	1,100
中江水电厂	142	144,483	60.0%	30.0%	10.0%	325,939	28%	1.5%	14%	48%	8.5%	23,800元	0.203	0.30	2,300
遂寧水电厂	162	677,280	31.5%	44.0%	24.5%	344,422	21.4%	0.6%	7.5%	33%	37.5%	40,011元	0.07	0.18	2,130
雅安水电厂	300	1,430,000	40.0%	25.5%	34.5%	480,290	43.4%	2.0%	12.6%	38.3%	3.66%	60,000元	0.04195	0.14	1,600
郫縣水电厂	26.4	54,000	9.3%	64.5%	26.2%	31,146	45%	6.6%	4.15%	38%	6.25%	6,048元	0.119	0.44	1,180
三台水电厂	120	130,820	55%	21.5%	23.5%	217,050	29.3%	1.86%	27.9%	29.5%	11.5%	32,536元	0.0898	0.26	1,800

旧机器）、自制木質水輪机及就地取材（利用河中沙石筑堤、自制人造石等）。同时也沒有高压輸电綫路。

总之，电厂应为用戶服务，只有努力降低成本才有發展前途，但有的地方認为电量供不应求，电价可以高些，这是十足的营利观点，同时电厂不努力降低成本，使廣大人民对用电不感兴趣，对水电站發展的影响很坏，急应糾正。要降低成本，必須：

1.尽量就地取材，降低电厂造价；

2.提高設备利用率，包括擴大用戶与增加白天用电；

3.減少运轉人員的开支与修理費用；

4.減少电能损失，目前有些电厂輸电距离大于1公里，仍用低压輸电，电能損失嚴重，应改用高压輸电；

5.適当降低电价，可以擴大用戶；

6.提高电厂机組效率，如改善傳动設备、尾水管及水輪机等，以增加發电量。

（4）运轉記錄与制度：小型水电厂的运轉記錄与制度一般不健全，一般电厂在运轉时，电气值班工人每隔1小时抄錄电表上的讀数一次。大多数負荷的記錄是記电压和电流的，然后經过記錄，才得出負荷的千瓦数，个别的用功率表，很少用瓩时計記錄。軸承的溫度也是每隔1小时記錄一次，但記錄的电厂不多。有的电厂根本沒有运轉記錄，这些电厂大多数只为照明服务，都是包灯，运轉时間只有一班制，从下午7～12时。只有少数的較大电厂才是三班制。

在建立制度与規程上，遂寧电厂做得較好，他們实行了值班巡迴定期檢查制、定期設备檢查檢修制、事故处理規程、發电車間的个人崗位負責制与檢查彙报表等制度。自实行这种檢查制度后，职工增强了責任感，領導上也掌握了設备情况，事故次数大为減少，尤其減少了隱形事故，并提高了工人的技術水平。我們認为这种檢查制在各电厂都应迅速建立起來。現介紹几种檢查制度如下：

1.巡迴檢查——巡迴檢查是值班工人在运轉时間內進行的，兩个值班工人互相監督，輪流檢查。依設备的重要性对設备的檢查时間分为：

随时檢查和注意的，如在水輪机方面的牙齒箱、小主軸、調速器皮帶等，在發电机方面的交流电机、直流电机、电压表等；

30分鐘檢查幷結合抄数的，如牙箱溫度、水位指示器、交流电机溫度等；

隔一小时檢查的，如迴油布司、机油泵等；

2.交接班檢查是在运轉人員換班时，交班工人与接班工人進行檢查，并將情况填入表中。

3.設备定期檢查是在設备專責人領導下進行的，檢查时間是每星期一次（星期日），檢查結果填表上报。

当然，制度与規程尚不限于此，各电厂应根据本身情况，訂出各种制度与規程，以加强技術檢查。

九、房山縣高庄水电站兩击式水輪机的安裝

水利部北京勘測設計院水电組

河北省房山縣高庄小型水电站兩击式水輪机的進水方向是水平的，它所以采用水平方向進水，是与地形有关的。在其他地方就不一定采用水平進水。我們認为高庄水电站的安裝步驟及方法是比較合理的。

一、兩击式水輪机的主要構件

I、轉动部分

1.轉子：叶片的曲面是2个圓弧組成的，叶片由鋼板制成，二端的擋水板由鑄鉄制成。采用"預鑄"的方法將叶片固定在擋水板上(在澆鑄擋水板时就將叶片插入)。主軸不通过轉子中心，把主軸用螺絲固定在擋水板上。

2.軸承：單滚珠軸承系內圓而有斜度的。滚珠軸承通过軸套与軸固定，軸套外圓也有斜度，与滚珠軸承內圓配合起來用以調節配合松緊程度。軸套外圓一端有螺絲紋，配上一压緊帽，这个帽主要是使滚珠軸承、軸套和軸三者固定成一个整体。另有1鎖片用以防止压緊帽發生松动。

滚珠軸承放入軸承座里，軸承座、斜板(調節軸的高程)和軸承架三者用螺絲固定。軸承座和斜板上的固定螺絲孔是長圓形的，这是为了使能移动位置，在調正高程和位置时，可用軸承架二端的螺絲調節。軸承架本身有4个地脚螺絲与地板固定。

黃油加入軸承座里，因未設油杯，加油时須將軸承座盖揭开。

3.傳动設备：水輪机每分鐘180轉，發电机每分鐘1,000轉，用一次傳动比速太大，所以选用二次傳动。

第一次傳动的三角皮帶長度用压緊輪來調節，第二次变速的三角皮帶長度用移动發电机的位置來調節(在發电机下面有一軌道，只要調節軌道上的螺絲，就可以移动發电机的位置)。

II、輸水部分

1.木管截面是圓的，噴嘴截面是長方形的，因而兩者中間需用1節漸变管。但因

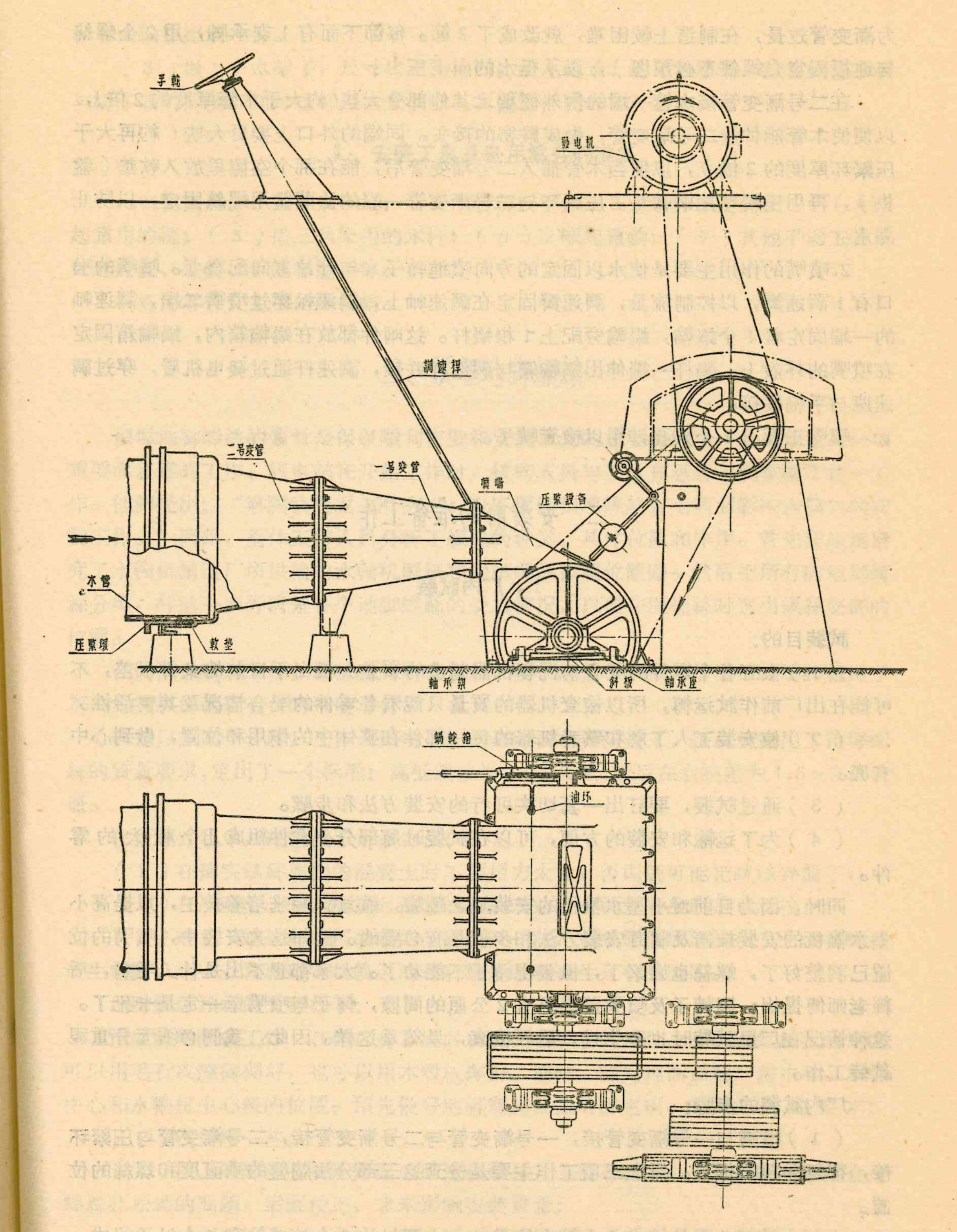


圖1　房山縣高庄水电站兩击式水輪机布置圖

为漸变管过長，在制造上較困难，就改成了2節。每節下面有1支承脚，用2个螺絲与地板固定（螺絲不必預埋），以承担水的向下压力。

在二号漸变管接木管一端的內外徑要比其他部分大些（約大于木管厚度的2倍），以便使木管能伸進二号漸变管，做成嚴密的接头。同端的外口上要更大些（約再大于压緊环厚度的2倍），以便当木管插入二号漸变管后，能在那个空隙里放入軟垫（盘根），再用压緊环压緊軟垫。压緊环与二号漸变管一端的法蘭盤用螺絲固定，以防止漏水。

2.噴嘴的作用主要是使水以固定的方向噴進轉子（与叶片方向配合）。噴嘴的喉口有1調速瓣，以控制流量，調速瓣固定在調速軸上，調速軸穿过噴嘴二端，調速軸的一端固定着1个蝸輪，蝸輪旁配上1根蝸杆。这兩件都放在蝸輪箱內，蝸輪箱固定在噴嘴的外殼上。蝸杆一端伸出蝸輪箱与調速杆联接，調速杆通过發电机層，穿过調速座与手輪联接。

噴嘴正面有1个人孔，用以檢查轉子。

二、安裝前的准备工作

I、厂內試裝

試裝目的：

（1）檢查各个零件的配合情况和机器制造的質量。但由于目前的条件很差，不可能在出厂前作試运轉，所以檢查机器的質量只能看各零件的配合情况及其灵活性。

（2）使安裝工人了解和熟悉机器的每一部件在整体中的作用和位置，做到心中有底。

（3）通过試裝，要訂出一套切实可行的安裝方法和步驟。

（4）为了运輸和安裝的方便，可以在試裝时將部分小零件組成几个較大的零件。

同时，因为目前对小型水輪机的安裝缺乏經驗，通过試裝來培养技工，以提高小型水輪机的安裝技術及制訂安裝方法和步驟是有必要的。例如这次安裝中，噴嘴的位置已調整好了，螺絲也旋緊了，但發現轉子不能动了。大家都想不出是什么毛病，后經老师傅提出：因轉子及噴嘴壁間只有2公厘的間隙，轉子与噴嘴壁一定是卡死了。这种情况在厂里試裝时也發生过，后經檢查，果然是这样。因此，我們必須充分重視試裝工作。

厂內試裝的步驟：

（1）噴嘴与一号漸变管接，一号漸变管与二号漸变管接，二号漸变管与压緊环接，都無問題时拆下。以上三項工作主要是檢查这三部分法蘭盤的垂直度和螺絲的位置。

（2）將部分零件組成几个較大的零件：中間軸的2个傳动輪和2个軸承組成一件；轉子主軸的1个傳动輪及3个軸承組成一件；噴嘴、調速瓣、調速軸、蝸輪、蝸

杆和蝸輪箱組成一件。

（3）做1个木架子，尺寸与实物相同。放上軸承、轉子和噴嘴，試着調節噴嘴与轉子間的間隙。同时也可以檢查噴嘴与其他零件間的相互距离。

II、安裝工具及备用零件的准备

1.安裝工具：（1）水平尺；（2）活动扳手；（3）各种厚度的垫片；（4）起重用的繩；（5）搭三角架用的木杆；（6）2噸起重鉤；（7）其他手动工具，如老虎鉗、鉄鉎、手錘和鑿子等。

2.备用零件：主要是螺絲帽。

三、預埋地脚螺絲

預埋地脚螺絲的質量是保証順利安裝和安裝質量的重要关鍵之一，所以这是一項重要而复雜的工作。該电站在开始工作时，技術人員与工人在思想上就重視了这一工作。他們提出："寧願我們返100次工，也不要因預埋螺絲有毛病而影响水輪机的安裝工作。"因此，全体工作人員分析了螺絲的种类、具体位置和作用。首先詳細地研究了水輪机制造厂所供給的水輪机圖紙和地脚螺絲預埋位置圖。然后把所有的地脚螺絲分类，幷進一步弄清楚各个地脚螺絲的受力情况，以便在埋螺絲时定出螺絲底部的位置。

在摸清机械对螺絲預埋精度的要求以前，要了解整个机械的情况，幷要詳細地了解与地脚螺絲直接有关的那些零件。

經过以上兩个步驟，工作人員对工作的具体要求弄清楚了，接着就提出了預埋螺絲的質量要求，定出了一个标准：高低誤差为2～3公厘，前后左右誤差为1.5～2.0公厘。

在預埋过程中，还提出了好多办法：

（1）在搗实螺絲周圍的混凝土时不要用力太大，否則就可能把螺絲弄偏了；

（2）在澆混凝土时，要随时注意螺絲的动态，有偏差發生时应及时校正；

（3）螺絲下端应与已經做成的基礎离开一些，以免螺絲底部擱在上面而使螺絲產生偏度。这次在預埋發电机軌道的地脚螺絲时就發生过这类問題。

地脚螺絲預埋的过程如下：

預埋前的准备工作 在做厂房基礎时就留出埋螺絲的地位。在所留螺絲孔的周圍可以用毛石或燒磚砌好，也可以用木殼板撑好。同时，測定地面高程厂房中心、木管中心和水輪机中心綫的位置。預先做好地脚螺絲位置的固定板。对固定板的要求：

（1）板要厚一些；

（2）板上的螺絲孔要能緊緊地固定住螺絲，不能有松动。在这次安裝中就有过螺絲孔松动的問題，后經校正，才未影响安裝質量；

（3）样板是由几塊幷成的，因此要注意采用硬木，以免合成一塊以后仍能發生扭动。这次安裝用的样板有：

（甲）噴嘴和三个主軸軸承的地脚螺絲組成一塊样板；

（乙）兩个傳动軸承的地脚螺絲組成兩塊样板。

放样　准备工作做好以后，即進行放样。其步驟如下：

（１）根据木管中心和水輪机中心，把噴嘴和三个主軸承的地脚螺絲所組成的样板放上，使样板的中心綫与水輪机的中心綫重合，这就可以把样板放在正确的位置上；

（２）根据水輪机的中心綫測定發电机的中心綫；

（３）根据發电机的中心綫測定四号軸承的中心綫（即埋在牆里的那个軸承），然后把样板放好；

（４）根据水輪机的中心綫測定五号軸承的位置，然后把样板放好。所有样板上的中心綫都要和測定的中心綫重合。

在測定二个傳动軸的中心綫位置时，由于一个是根据水輪机中心綫，另一个是根据發电机中心綫，虽然是同一个原始依据，但在几次換測中發生了誤差，因而造成兩个軸承的位置誤差較大（見誤差示意圖）。

四、各零件的安裝

Ｉ、預埋螺絲的誤差

电站全部地脚螺絲都是預埋的，这是一項細致的工作。如預埋螺絲產生誤差超过机械上允許誤差的范圍时，非但不能減少安裝的时間，相反的給安裝帶來許多麻煩。这次預埋螺絲的誤差沒有影响安裝（見示意圖）。但是在沒有十分把握时，不能像这次安裝一样，把所有地脚螺絲和木管接头埋死。

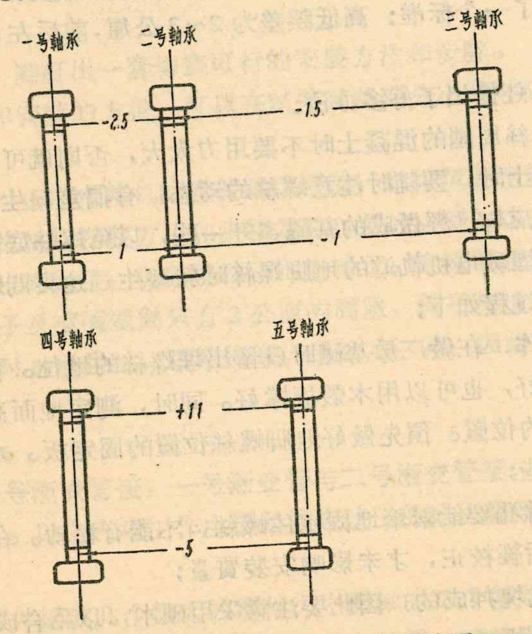


圖２　預埋地脚螺絲誤差示意圖

Ⅱ、安裝人員及工作量

在电站工务所下設一机械安裝組，設組長一人。安裝工作主要由修配厂的４名技工及１名技術員担任，工务所派了２名技工及10余个民工协助。安裝工作量見下表。

日　期	工作項目	时間	工作人數
2月3日	三个軸承架安裝	3工时	技工1名，民工1名
2月3日	轉子安裝	2工时	技工4名，民工11名
2月3～4日	噴嘴安裝	4工时	技工4名，民工11名
2月4日	傳动設备安裝	5工时	技工3名，民工6名
2月4～5日	漸变管安裝	4工时	技工4名，民工5名
2月6日	調整器安裝	1工时	技工3名

注：民工主要用于起重工作

Ⅲ、安裝步驟

（一）水輪机的三个主軸承安裝

安裝軸承座时要特別注意控制水平，高程稍有誤差时，可用斜板調節（但有一定限度）。此次安裝水輪机与木管的相对位置沒有發生問題。

（１）一号軸承架安裝：（甲）鑿平混凝土地面；（乙）四角放上墊片；（丙）試放軸承架，看清４个螺絲偏度及其方向。然后拿走軸承架，用手錘校正螺絲偏差（螺杆上要加上螺帽）。再試放軸承架，这一工作要反复地進行几次，直到軸承架放下才完畢。但要注意用手錘校正螺絲的偏度，只能用于偏差較小的情况下。（丁）校正軸承架的水平是放上水平尺，用加減墊片的方法來校正，但要注意墊片不要墊得太厚，以免影响高程。

（２）二号軸承架安裝：具体步驟与上述的相同。但在校正水平时，应与一号軸承架联合一起校正，防止兩个軸承架產生高度誤差。

（３）三号軸承架安裝：与二号軸承架完全一样，不同的只是校正水平时不与一号軸承架的水平联合起來校，而是与二号軸承架的水平联合起來校。校正时不用水平尺，用“拉綫”方法，見圖三。（調節到 a 等于零）。

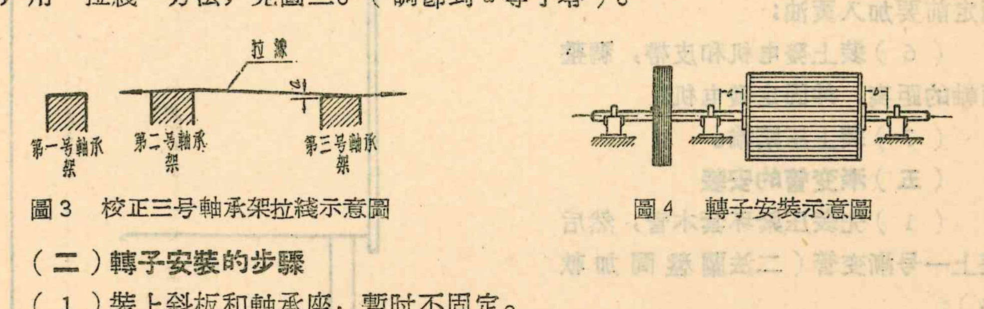


圖３　校正三号軸承架拉綫示意圖

圖４　轉子安裝示意圖

（二）轉子安裝的步驟

（１）裝上斜板和軸承座，暫时不固定。

（２）裝轉子：在工作前要洗好滾珠軸承，并套入軸上（緊帽先不擰緊），但二号滾珠軸承不必拿下來洗。同时把傳动的三角皮帶，套上傳动輪，然后裝上轉子。

（3）校正轉子的水平及平面位置：校正水平时，水平尺放在主軸上，調節軸承座下面的斜板位置并校正平面位置（見圖四）。用內卡量 a 和 b，当 a 等于 b 时即为正确位置；如 a 不等于 b 时，則推軸使到正确位置上即可，因为这时軸套上的緊帽还沒有擰緊，軸套与軸配合是很松的。

（4）擰緊軸承座的固定螺絲。擰緊緊帽及鎖片，塡上黃油，放上軸承座盖并加以固定。以上三項工作必須在裝上噴嘴調整到合宜位置时才做。

（三）噴嘴安裝

当噴嘴放上以后，要調整它的水平、高程和与轉子的相互位置。这三个工作是相互联系而需要反复進行的，它的校正情况見圖五。噴嘴的位置以 a、b 和 c 三值來表示，当 $a=b=c$ 时即为正确位置。要使 $a=b=c$，只要移动噴嘴的位置或調節螺絲即可。在用內卡測 a、b 和 c 值时，并要不断地測噴嘴与一号漸变管接头处的那个法蘭面的垂直度。因为轉子与噴嘴的間隙只有2公厘（大了水輪机效率不好），所以这一工作做得好与坏直接影响到水輪机的正常运轉和效率。

在噴嘴的下端的法蘭与地板間放上墊片。再裝上主軸兩端的止水片。

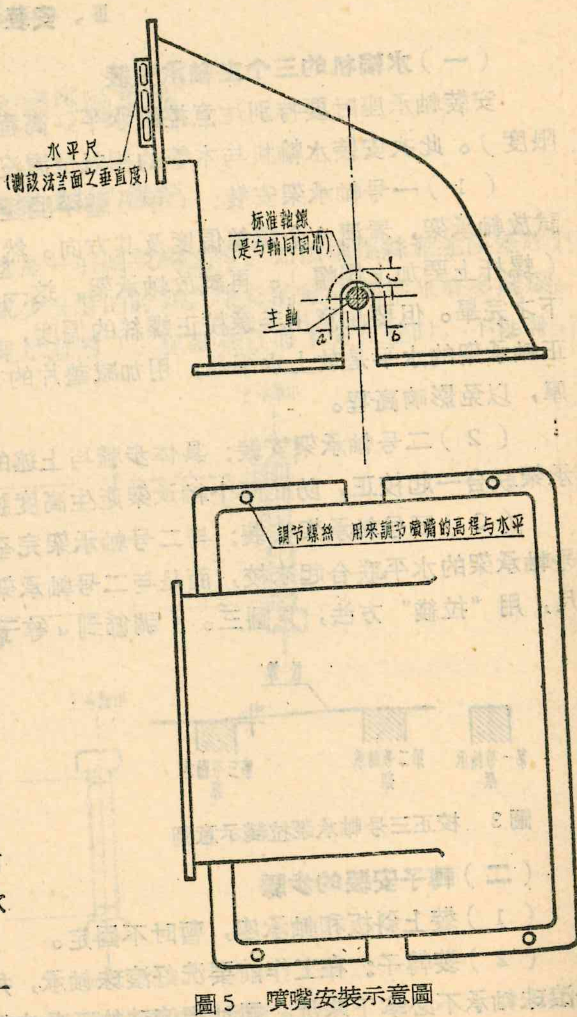


圖5　噴嘴安裝示意圖

（四）傳动設备的安裝

（1）傳动設备的軸承架及軸承座与主軸承架的安裝完全相同；

（2）洗好滾珠軸承，套上傳动軸；

（3）套上三角皮帶，这一工作应在傳动軸放下时來做；

（4）傳动軸安上后，要用水平尺校正水平及其中心綫与主軸中心綫是否平行。校正平行时，采用拉綫方法；

（5）固定軸承架和軸承座的螺絲，放上軸承座盖，并加以固定，在固定前要加入黃油；

（6）裝上發电机和皮帶，調整兩軸的距离，并固定發电机；

（7）裝上压緊輪。

（五）漸变管的安裝

（1）先裝压緊环套木管，然后裝上一号漸变管（二法蘭盤間加軟墊）；

（2）放上二号漸变管，并与一号漸变管固定（二法蘭盤間加軟墊）。

二号漸变管的另一端嵌入軟墊，这一端的法蘭盤与压緊环固定，越緊越好；

（3）最后埋死漸变管的4个地脚螺絲；

（六）調速器的安裝

这項工作很簡單，調速器放在木制楼板上，可根據具体情况，現鑽調速器座的固定螺絲孔。先裝上調速杆、調速器座，再裝上手輪，然后固定調速器座的地脚螺絲。安裝工作完畢后，要檢查油杯存油的情况，并在噴嘴与地板間灌入混凝土。

（七）安裝过程中与其他部分的关系

在安裝过程中要与其他部分联系配合，特别是与土建部分的联系配合是保証勝利完成安裝工作的主要条件。这次的安裝工作是在白天進行的，其他有关配合工作主要是在晚上進行，因此，在安裝中沒發生因配合不好而影响安裝工作的問題。

五、起重方法

小型水电站的机器起重是一項較重要的工作。因小型水电站內不設桥式起重机，大都只能用起重鈎及三角架來起重。这次安裝的起重方法是：

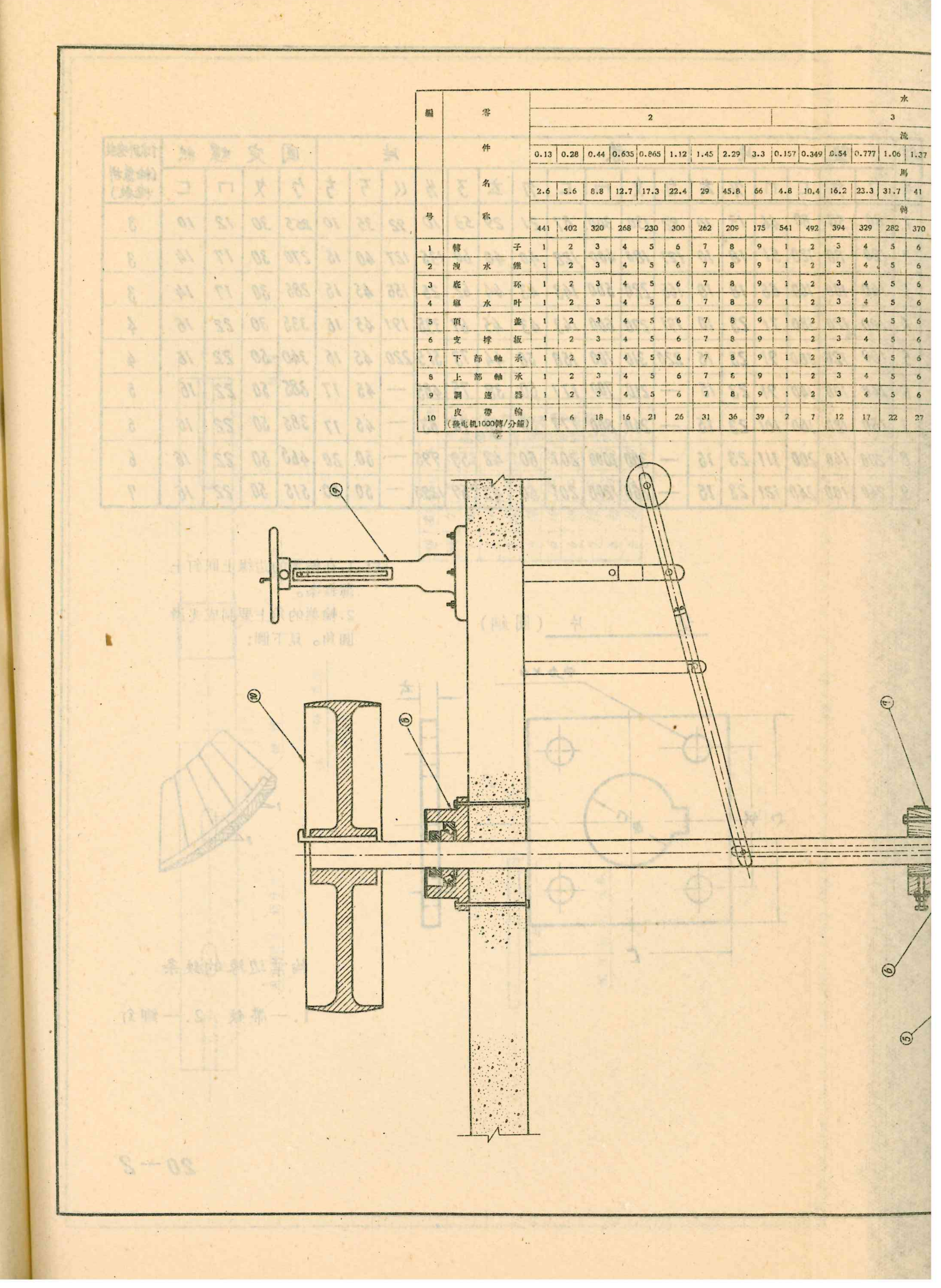
（1）在起重鈎底下放上平木板（搭在發电机層楼板上）；

（2）將零件用人力抬到起重鈎下的木板上，然后將零件搭在挂鈎上升起一点（剛离板），迅速將搭在發电机層上的木板撤去。再將零件送入水輪机層去。

在特殊情况下，如鏈条不够長时，要零件在下降到半中間时停一下，并在零件下面搭上木架子。要特别注意的是待零件放穩后再松繩。起重使用的繩要經过嚴格檢查，以防在起重过程中折斷。

十、木制旋槳式水輪机制造圖

（圖号20—1～20—18）



編号	零件名称	水														
		2									3					
		流														
		0.13	0.28	0.44	0.635	0.865	1.12	1.45	2.29	3.3	0.157	0.349	0.54	0.777	1.06	1.37
		馬														
		2.6	5.6	8.8	12.7	17.3	22.4	29	45.8	66	4.8	10.4	16.2	23.3	31.7	41
		轉														
		441	402	320	268	230	300	262	209	175	541	492	394	329	282	370
1	轉子	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6
2	洩水錐	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6
3	底环	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6
4	導水叶	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6
5	頂蓋	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6
6	支撑板	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6
7	下部軸承	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6
8	上部軸承	1	2	3	4	5	6	7	6	9	1	2	3	4	5	6
9	調速器	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6
10	皮帶輪（發电机1000轉/分鐘）	1	6	18	16	21	26	31	36	39	2	7	12	17	22	27

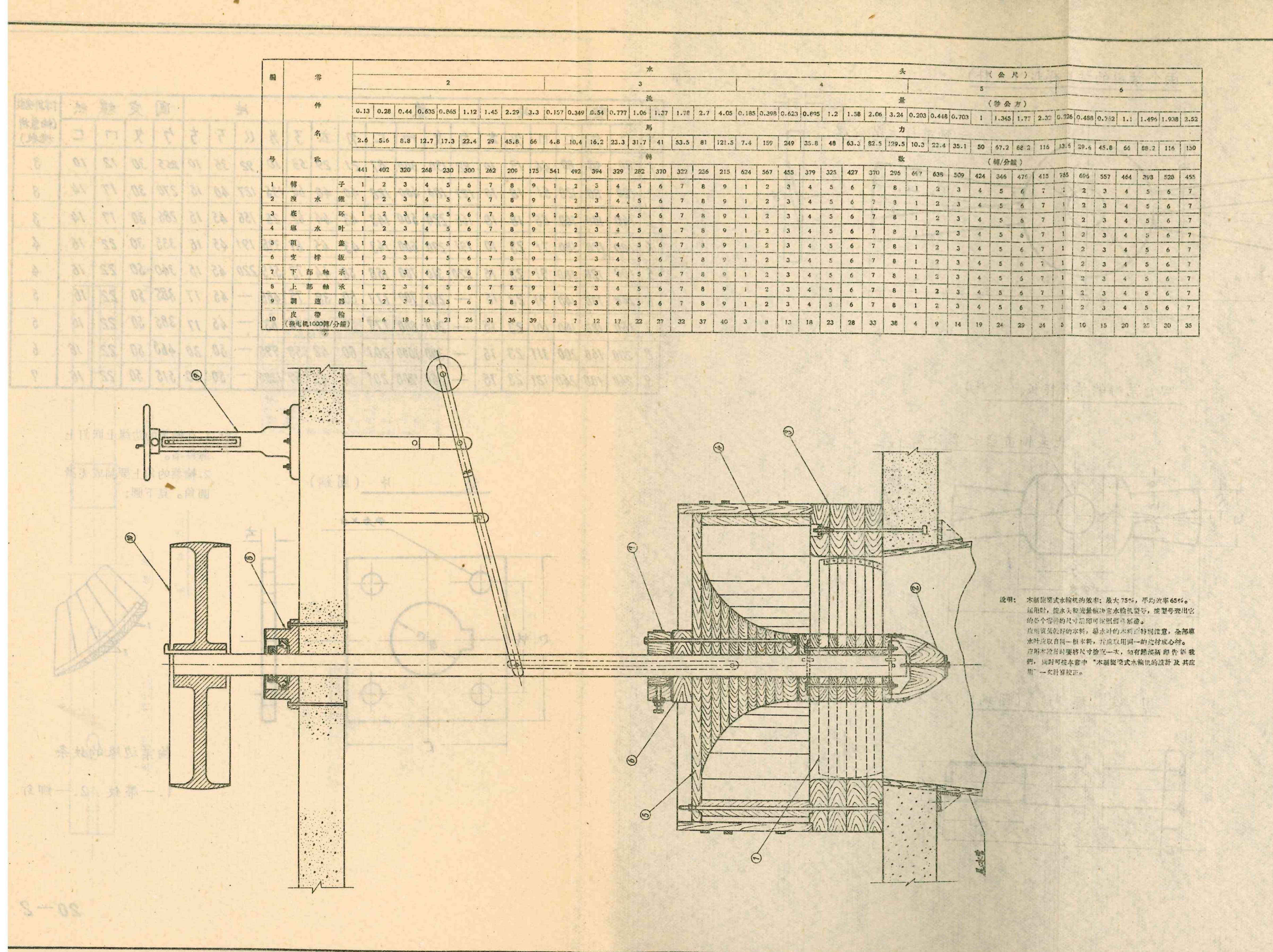
編號	零件名稱	水头（公尺）2								
	流量（秒公方）	0.13	0.28	0.44	0.635	0.865	1.12	1.45	2.29	3.3
	馬力	2.6	5.6	8.8	12.7	17.3	22.4	29	45.8	66
	轉数（轉/分鐘）	441	402	320	268	230	300	262	209	175
1	轉子	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	洩水錐	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	底环	1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	導水叶	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	頂蓋	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	支撑板	1	2	3	4	5	6	7	8	9
7	下部軸承	1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	上部軸承	1	2	3	4	5	6	7	8	9
9	調速器	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	皮帶輪（發电机1000轉/分鐘）	1	6	18	16	21	26	31	36	39

編號	零件名稱	水头（公尺）3								
	流量（秒公方）	0.157	0.349	0.54	0.777	1.06	1.37	1.78	2.7	4.05
	馬力	4.8	10.4	16.2	23.3	31.7	41	53.5	81	121.5
	轉数（轉/分鐘）	541	492	394	329	282	370	322	256	215
1	轉子	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	洩水錐	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	底环	1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	導水叶	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	頂蓋	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	支撑板	1	2	3	4	5	6	7	8	9
7	下部軸承	1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	上部軸承	1	2	3	4	5	6	7	8	9
9	調速器	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	皮帶輪（發电机1000轉/分鐘）	2	7	12	17	22	27	32	37	40

編號	零件名稱	水头（公尺）4							
	流量（秒公方）	0.185	0.398	0.623	0.895	1.2	1.58	2.06	3.24
	馬力	7.4	159	249	35.8	48	63.3	82.5	129.5
	轉数（轉/分鐘）	624	567	455	379	325	427	370	296
1	轉子	1	2	3	4	5	6	7	8
2	洩水錐	1	2	3	4	5	6	7	8
3	底环	1	2	3	4	5	6	7	8
4	導水叶	1	2	3	4	5	6	7	8
5	頂蓋	1	2	3	4	5	6	7	8
6	支撑板	1	2	3	4	5	6	7	8
7	下部軸承	1	2	3	4	5	6	7	8
8	上部軸承	1	2	3	4	5	6	7	8
9	調速器	1	2	3	4	5	6	7	8
10	皮帶輪（發电机1000轉/分鐘）	3	8	13	18	23	28	33	38

編號	零件名稱	水头（公尺）5						
	流量（秒公方）	0.203	0.448	0.703	1	1.345	1.77	2.32
	馬力	10.3	22.4	35.1	50	67.2	88.2	116
	轉数（轉/分鐘）	697	638	509	424	346	476	415
1	轉子	1	2	3	4	5	6	7
2	洩水錐	1	2	3	4	5	6	7
3	底环	1	2	3	4	5	6	7
4	導水叶	1	2	3	4	5	6	7
5	頂蓋	1	2	3	4	5	6	7
6	支撑板	1	2	3	4	5	6	7
7	下部軸承	1	2	3	4	5	6	7
8	上部軸承	1	2	3	4	5	6	7
9	調速器	1	2	3	4	5	6	7
10	皮帶輪（發电机1000轉/分鐘）	4	9	14	19	24	29	34

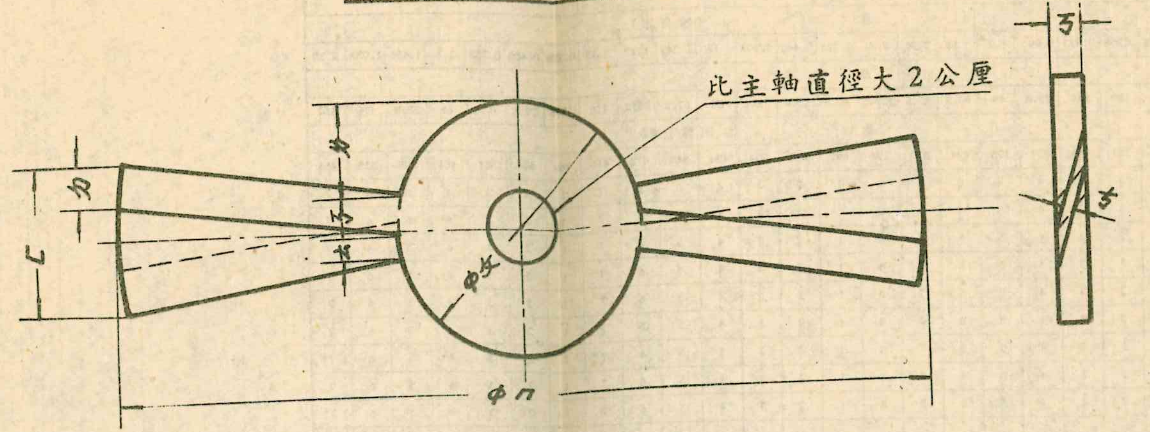
編號	零件名稱	水头（公尺）6						
	流量（秒公方）	0.226	0.488	0.762	1.1	1.496	1.938	2.52
	馬力	13.6	29.4	45.8	66	88.2	116	150
	轉数（轉/分鐘）	765	696	557	464	398	528	455
1	轉子	1	2	3	4	5	6	7
2	洩水錐	1	2	3	4	5	6	7
3	底环	1	2	3	4	5	6	7
4	導水叶	1	2	3	4	5	6	7
5	頂蓋	1	2	3	4	5	6	7
6	支撑板	1	2	3	4	5	6	7
7	下部軸承	1	2	3	4	5	6	7
8	上部軸承	1	2	3	4	5	6	7
9	調速器	1	2	3	4	5	6	7
10	皮帶輪（發电机1000轉/分鐘）	5	10	15	20	25	30	35



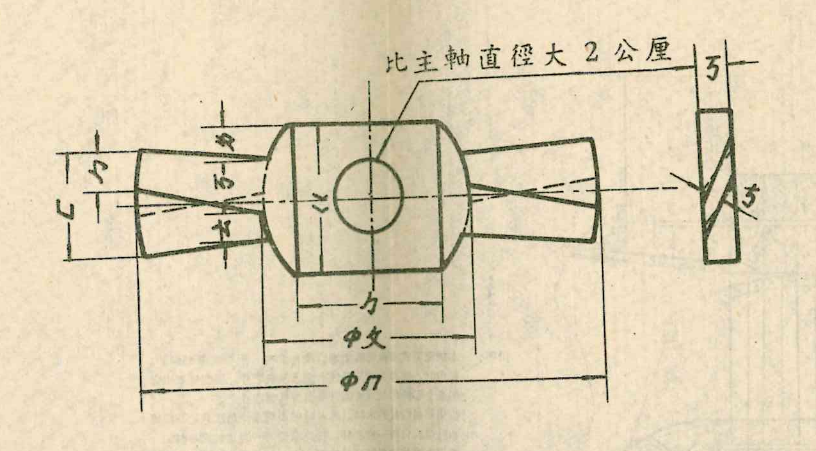
說明：木制旋槳式水輪机的效率：最大75%，平均效率65%。
運用时，按水头和流量值决定水輪机型号，按型号査出它的各个零件的尺寸后即可按照图纸制造。
应用質量較好的木料，導水叶的木料应特別注意，全部導水叶应取自同一根木料，并应取用同一的边材或心材。
应用本設計时要將尺寸檢查一次，如有錯誤請即告訴我們，同时可按本書中"木制旋槳式水輪机的設計及其应用"一文計算校正。

型号	墊片						葉片											固定螺絲				十字拼塊數（輪葉拼塊數）
	ㄅ	ㄆ	ㄈ	ㄇ	ㄉ	ㄊ	ㄅ	ㄆ	ㄇ	ㄈ	ㄉ	ㄊ	ㄋ	ㄌ	ㄍ	ㄎ	ㄘ	ㄅ	ㄆ	ㄇ	ㄈ	
1	80	58	80	46	13	10	92	130	300	87	21	29	53	10	92	35	10	255	30	12	10	3
2	120	80	120	51	18	10	127	180	400	128	40	40	60	13.5	127	40	15	270	30	17	14	3
3	140	100	140	66	18	10	156	220	500	143	43	44	62	25	156	45	15	285	30	17	14	3
4	180	120	180	71	23	10	191	270	600	143	43	45	67	39.5	191	45	15	335	30	22	16	4
5	180	120	180	91	23	15	220	310	700	158	58	44	73	51.5	220	45	15	340	50	22	16	4
6	140	100	140	91	23	15	—	210	700	177	50	38	75	48.5	—	45	17	385	50	22	16	5
7	160	120	160	101	23	15	—	240	800	177	50	38	76	63	—	45	17	385	50	22	16	5
8	200	140	200	111	23	15	—	300	1000	201	60	42	59	99.5	—	50	20	465	50	22	16	6
9	240	180	240	121	23	15	—	360	1200	201	60	42	59	129.5	—	50	20	515	50	22	16	7

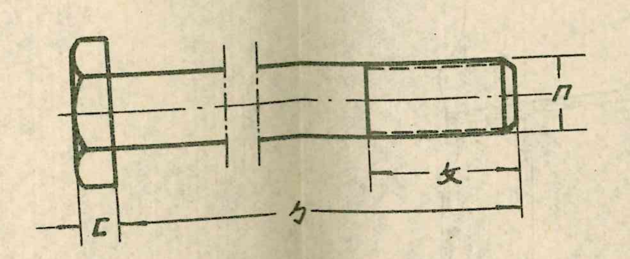
兩个葉瓣的葉片样板（木料）

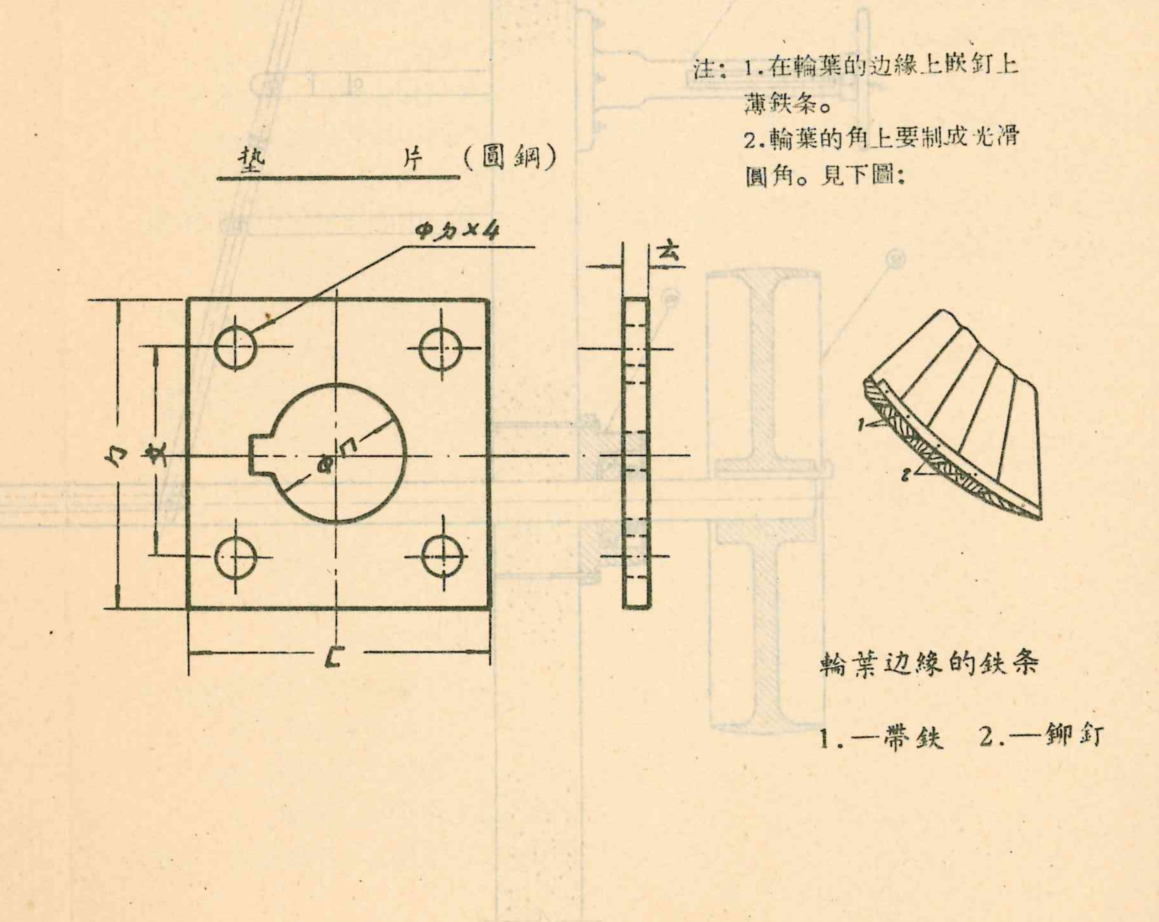


四个葉瓣的葉片样板（木料）

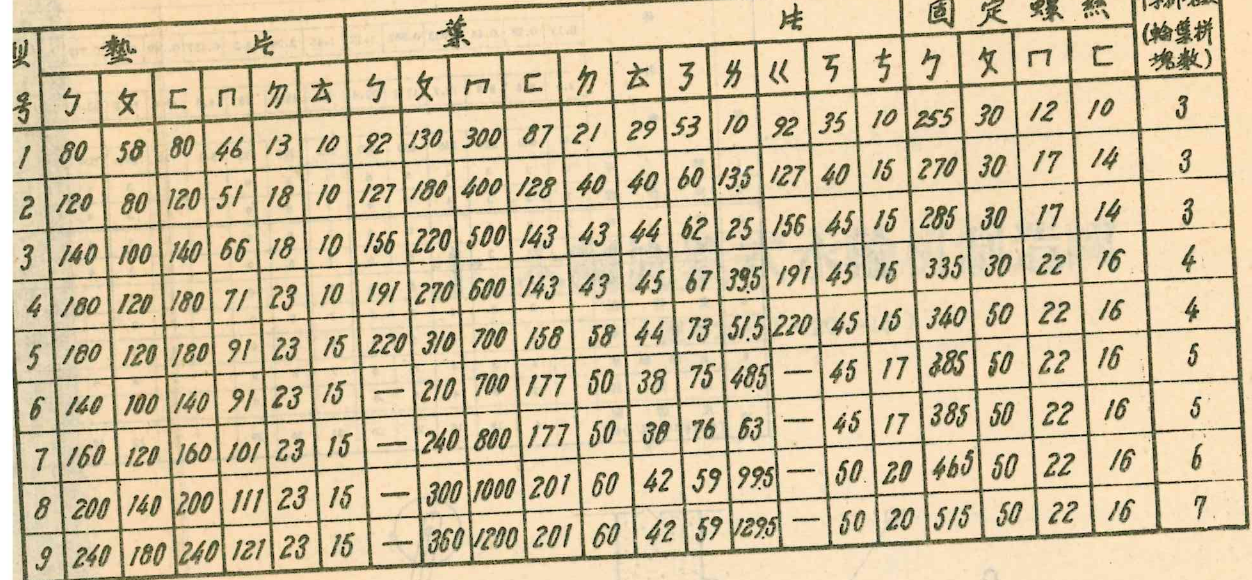


固 定 螺 絲（圓鋼）



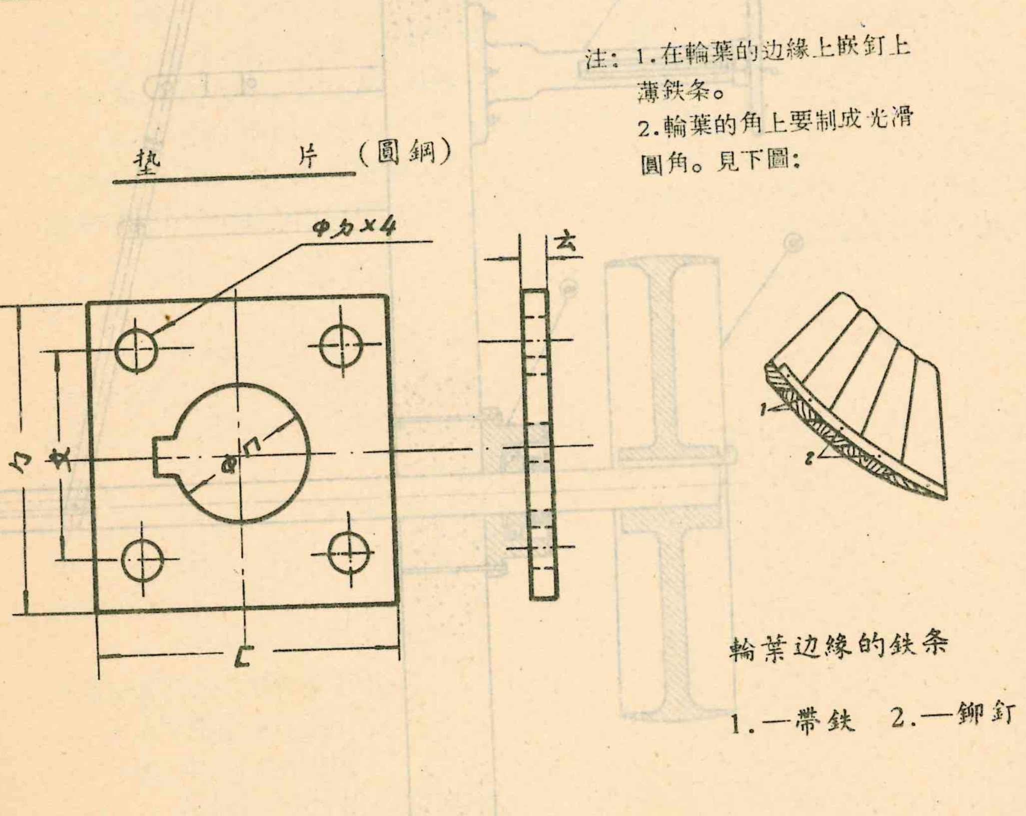


注：1.在輪葉的边緣上嵌釘上薄鉄条。
2.輪葉的角上要制成光滑圓角。見下圖：



型號	墊片						葉片											固定螺絲				十字拼塊數（輪集拼塊數）
	ㄅ	ㄆ	ㄈ	ㄇ	ㄉ	ㄊ	ㄅ	ㄆ	ㄇ	ㄈ	ㄉ	ㄊ	ㄋ	ㄌ	ㄍ	ㄎ	ㄘ	ㄅ	ㄆ	ㄇ	ㄈ	
1	80	58	80	46	13	10	92	130	300	87	21	29	53	10	92	35	10	255	30	12	10	3
2	120	80	120	51	18	10	127	180	400	128	40	40	60	13.5	127	40	15	270	30	17	14	3
3	140	100	140	66	18	10	156	220	500	143	43	44	62	25	156	45	15	285	30	17	14	3
4	180	120	180	71	23	10	191	270	600	143	43	45	67	39.5	191	45	15	335	30	22	16	4
5	180	120	180	91	23	15	220	310	700	158	58	44	73	51.5	220	45	15	340	50	22	16	4
6	140	100	140	91	23	15	—	210	700	177	50	38	75	48.5	—	45	17	385	50	22	16	5
7	160	120	160	101	23	15	—	240	800	177	50	38	76	63	—	45	17	385	50	22	16	5
8	200	140	200	111	23	15	—	300	1000	201	60	42	59	99.5	—	50	20	465	50	22	16	6
9	240	180	240	121	23	15	—	360	1200	201	60	42	59	129.5	—	50	20	515	50	22	16	7

注：1.在輪葉的边緣上嵌釘上薄鉄条。
2.輪葉的角上要制成光滑圓角。見下圖：



輪葉边緣的鉄条

1.—帶鉄　2.—鉚釘

主軸（圓鋼）

鍵槽　卸扣　鍵槽　固定螺絲孔　銷子孔

固定銷子（圓鋼）

型號	固定銷子 ㄅ	ㄆ	主軸 ㄅ	
1	16	65	45	主軸其他尺寸請查有關表格。主軸總長根據具體情況決定。
2	16	70	50	
3	16	95	65	
4	16	100	70	
5	19	130	90	
6	19	130	90	
7	19	150	100	
8	19	170	110	
9	19	180	120	

洩水錐

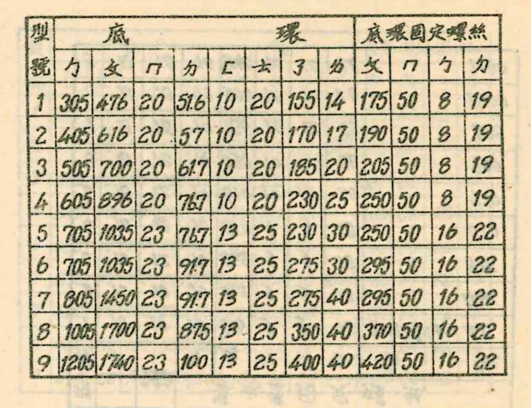
型號	洩水錐								墊片			固定螺絲					
	ㄅ	ㄆ	ㄇ	ㄈ	ㄉ	ㄊ	ㄋ	ㄌ	ㄅ	ㄆ	ㄇ	ㄅ	ㄆ	ㄇ	ㄈ	ㄉ	ㄊ
1	130	80	50	56	104	50	10	17	56	12	17	16	96	40	31.2	27	11
2	180	120	60	63	144	60	10	17	63	12	17	16	136	50	31.2	27	11
3	220	140	70	77	176	80	15	17	77	12	17	16	168	70	31.2	27	11
4	270	180	80	95	218	100	15	23	95	13	23	22	210	90	41.6	36	16
5	310	180	100	109	248	100	15	23	109	13	23	22	231	90	41.6	36	16
6	210	140	100	74	168	80	15	23	74	14	23	22	151	70	41.6	36	16
7	240	160	110	84	192	90	15	23	84	14	23	22	176	80	41.6	36	16
8	300	200	120	105	240	100	15	23	105	15	23	22	225	90	41.6	36	16
9	360	240	130	124	288	100	15	23	124	15	23	22	225	90	41.6	36	16

泄水錐（木料）

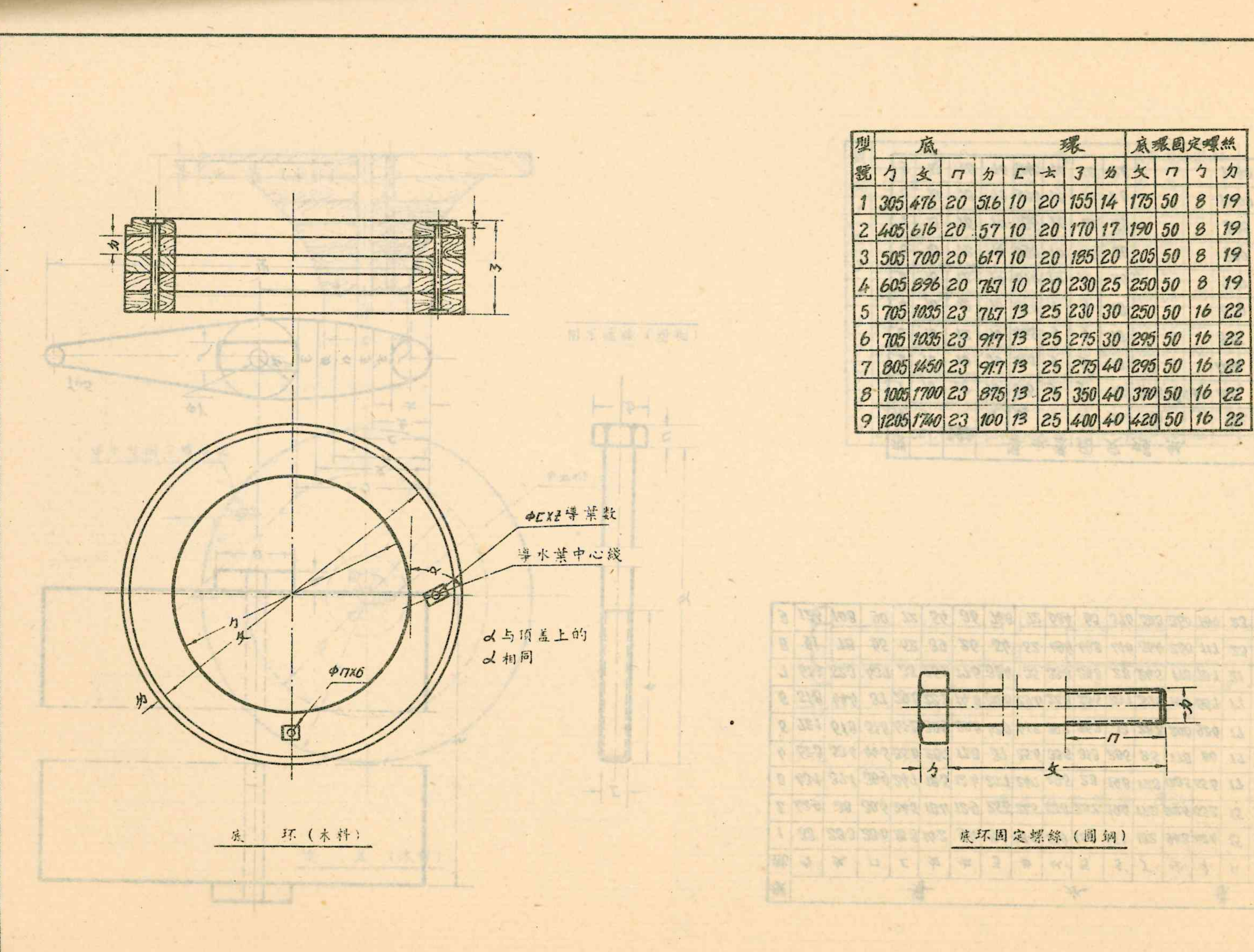
注：洩水錐与底下塊木圓板（軸轂下端）嵌入四塊薄鉄皮（厚度不小于3公厘），表面应与动輪的表面一般平，然后用大的螺釘將鉄片在底下塊木圓板（軸轂下端）和洩水錐上固定。

墊片（鋼料）

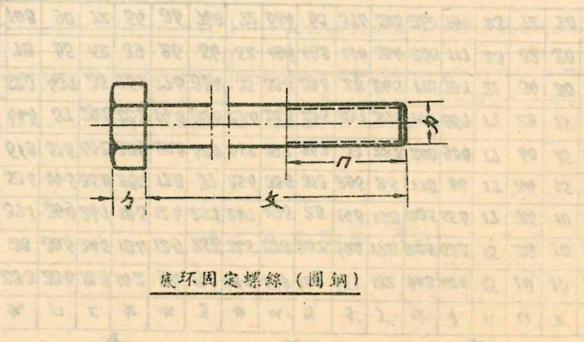
泄水錐固定螺絲（圓鋼）



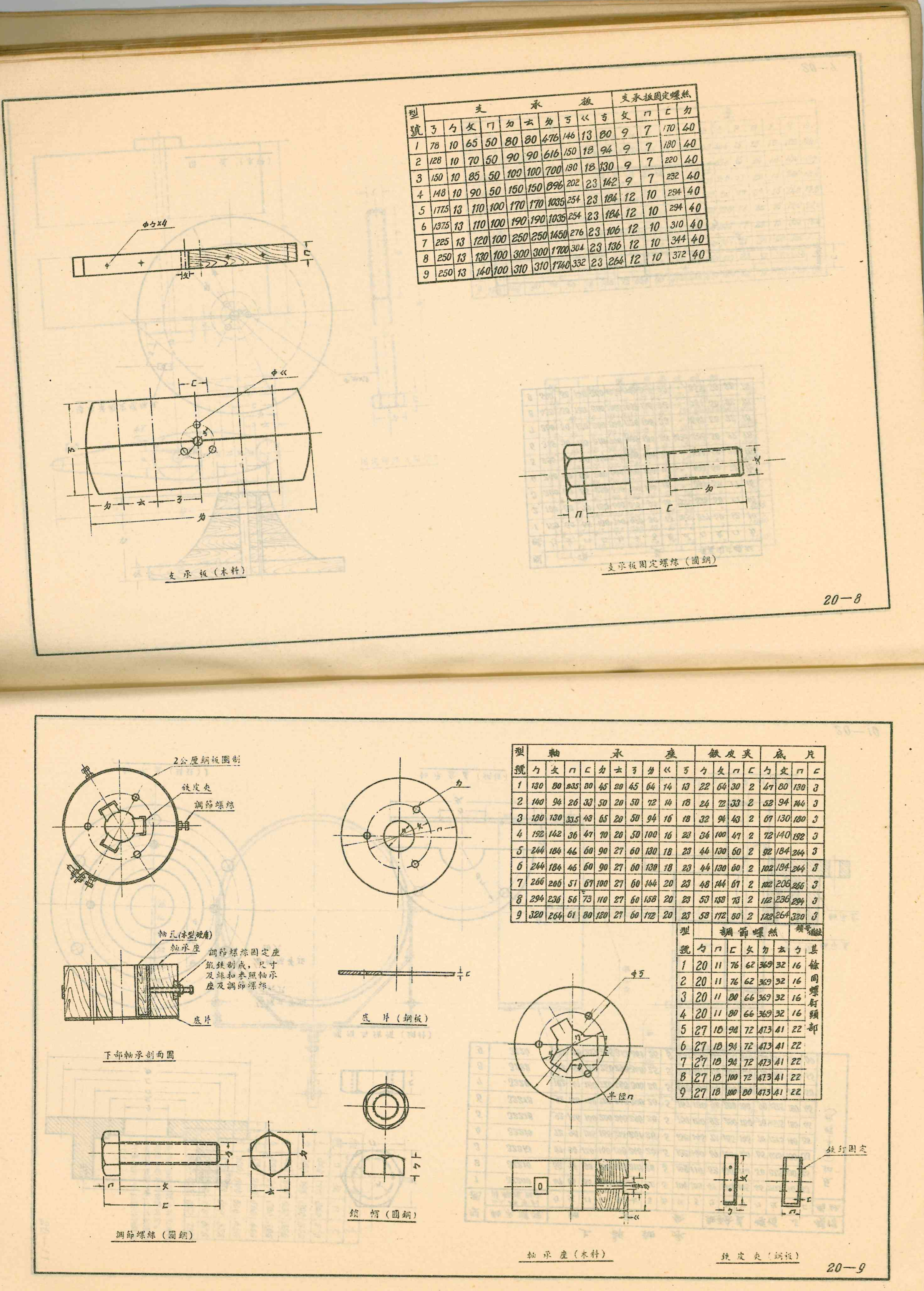
型號	底環								底環固定螺絲			
	ㄅ	ㄆ	ㄇ	ㄉ	ㄈ	ㄊ	ㄋ	ㄌ	ㄆ	ㄇ	ㄅ	ㄉ
1	305	476	20	51.6	10	20	155	14	175	50	8	19
2	405	616	20	57	10	20	170	17	190	50	8	19
3	505	700	20	61.7	10	20	185	20	205	50	8	19
4	605	896	20	76.7	10	20	230	25	250	50	8	19
5	705	1035	23	76.7	13	25	230	30	250	50	16	22
6	705	1035	23	91.7	13	25	275	30	295	50	16	22
7	805	1450	23	91.7	13	25	275	40	295	50	16	22
8	1005	1700	23	87.5	13	25	350	40	370	50	16	22
9	1205	1740	23	100	13	25	400	40	420	50	16	22



底环（木料）



底环固定螺絲（圓鋼）



型號	支承板 ㄋ	ㄅ	ㄆ	ㄇ	ㄉ	ㄊ	ㄌ	ㄎ	ㄍ	ㄎ	支承板固定螺絲 ㄆ	ㄇ	ㄈ	ㄌ
1	78	10	65	50	80	80	476	146	13	80	9	7	170	40
2	128	10	70	50	90	90	616	150	18	94	9	7	180	40
3	150	10	85	50	100	100	700	190	18	130	9	7	220	40
4	148	10	90	50	150	150	896	202	23	142	9	7	232	40
5	177.5	13	110	100	170	170	1035	254	23	184	12	10	294	40
6	137.5	13	110	100	190	190	1035	254	23	184	12	10	294	40
7	225	13	120	100	250	250	1450	276	23	106	12	10	310	40
8	250	13	130	100	300	300	1700	304	23	136	12	10	344	40
9	250	13	140	100	310	310	1740	332	23	264	12	10	372	40

支承板（木料）

支承板固定螺絲（圓鋼）

型號	軸承座 ㄅ	ㄆ	ㄇ	ㄈ	ㄉ	ㄊ	ㄋ	ㄌ	ㄍ	ㄎ	鉄皮夾 ㄅ	ㄆ	ㄇ	ㄈ	底片 ㄅ	ㄆ	ㄇ	ㄈ
1	130	80	235	30	45	20	45	64	14	13	22	64	30	2	47	80	130	3
2	140	94	26	33	50	20	50	72	14	18	24	72	33	2	52	94	144	3
3	180	130	33.5	43	65	20	50	94	16	18	32	94	43	2	67	130	180	3
4	192	142	36	47	70	20	50	100	16	23	34	100	47	2	72	140	192	3
5	244	184	46	60	90	27	60	130	18	23	44	130	60	2	92	184	244	3
6	244	184	46	60	90	27	60	139	18	23	44	130	60	2	102	184	244	3
7	266	206	51	67	100	27	60	144	20	23	48	144	67	2	102	206	266	3
8	294	236	56	73	110	27	60	158	20	23	53	158	73	2	112	236	294	3
9	320	264	61	80	120	27	60	172	20	23	58	172	80	2	122	264	320	3

型號	調節螺絲 ㄅ	ㄇ	ㄈ	ㄆ	ㄉ	ㄊ	ㄅ	鑽號備註
1	20	11	76	62	369	32	16	其餘同螺射頭部
2	20	11	76	62	369	32	16	
3	20	11	80	66	369	32	16	
4	20	11	80	66	369	32	16	
5	27	18	94	72	47.3	41	22	
6	27	18	94	72	47.3	41	22	
7	27	18	94	72	47.3	41	22	
8	27	18	100	72	47.3	41	22	
9	27	18	100	80	47.3	41	22	

下部軸承剖面圖

底片（鋼板）

調節螺絲（圓鋼）

鎖帽（圓鋼）

軸承座（木料）

鉄皮夾（鋼板）

上部軸承

型號	軸承牌號	軸承盒										軸承盒蓋			螺帽与鎖帽				備註
	二人牌單列圓錐滾軸承	ㄅ	ㄆ	ㄇ	ㄈ	ㄉ	ㄊ	ㄋ	ㄌ	ㄍ	ㄎ	ㄅ	ㄆ	ㄇ	ㄅ	ㄆ	ㄇ	ㄈ	
1	32209	47	66	85	125	163	211	20	5	104	105	47	125	105	45	78.75	90	23	反扣（左手螺紋）
2	32210	52	76	90	130	168	216	20	5	109	110	52	130	110	50	87.5	100	25	
3	32213	67	93	120	160	198	246	20	5	132	140	67	160	140	65	113.5	130	33	
4	32214	72	98	125	165	213	261	20	5	138	145	72	165	145	70	122.5	140	35	
5	32218	92	126	160	200	248	296	20	5	167	180	92	200	180	90	157.5	180	45	
6	32218	92	126	160	200	248	296	20	5	167	180	92	200	180	90	157.5	180	45	
7	3220	102	141	180	220	268	306	20	5	183	200	102	220	200	100	175	200	50	
8	3222	112	150	200	250	298	346	25	5	205	225	112	250	225	110	192.5	220	55	
9	3224	122	168	215	265	313	361	25	5	221	240	122	265	240	120	210	240	60	

½"螺孔等距六只

¼"螺絲等距四只

軸承盒（鑄鐵）

螺帽与鎖帽（鋼料）

¼"螺孔等距四只

軸承盒蓋（鋼板）

螺絲帽

軸承蓋

軸承盒

上軸承剖面圖

上端調速桿

下端調速桿

支承桿

橫槓桿

平衡重

帶動桿

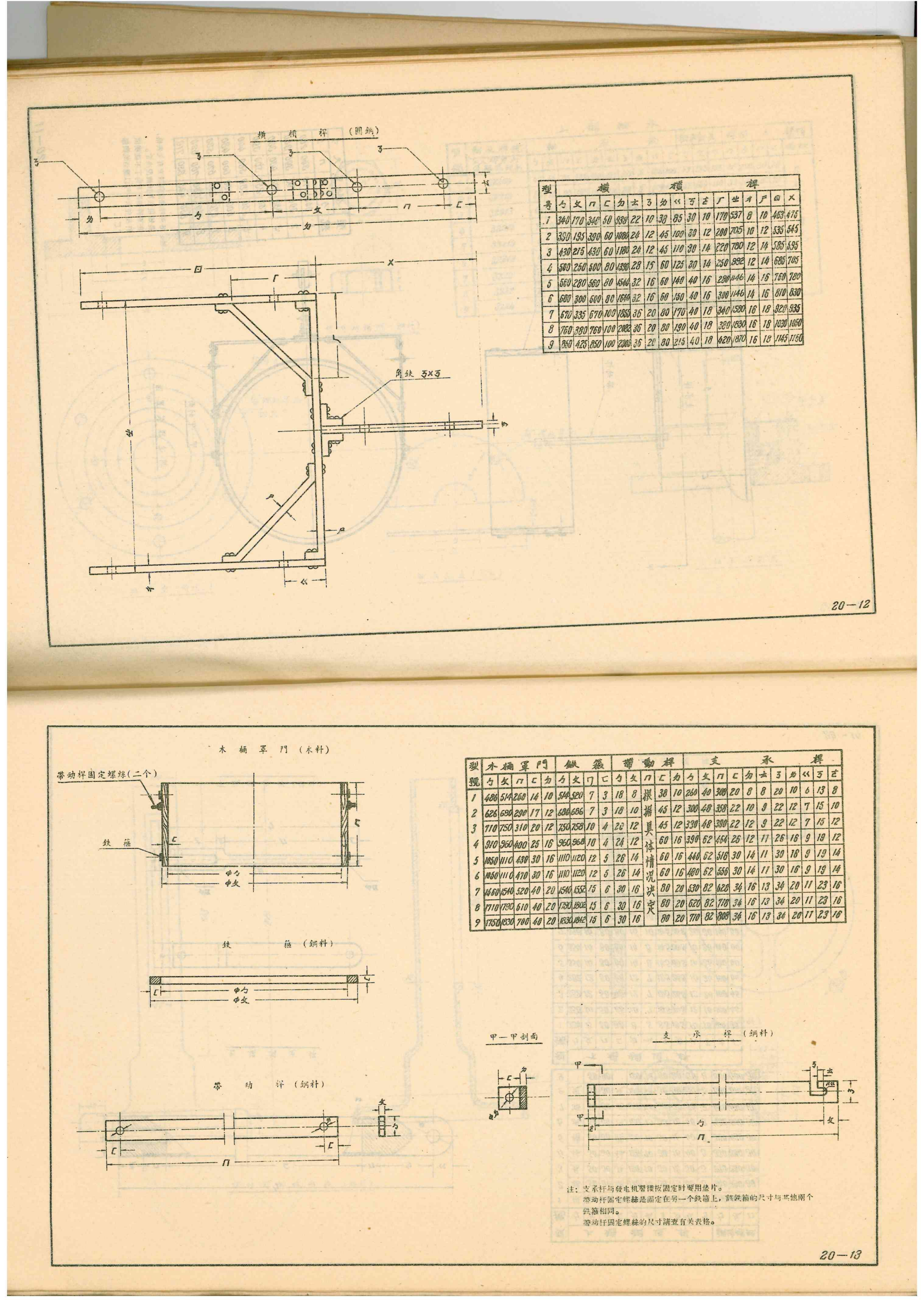
木桶草門

甲—甲剖面

調速器裝置圖

型號	位置尺寸			
	ㄅ	ㄆ	ㄇ	ㄈ
1	340	170	340	260
2	390	195	390	300
3	430	215	430	330
4	500	250	500	390
5	560	280	560	440
6	600	300	600	480
7	670	335	670	530
8	760	380	760	620
9	850	425	850	710

注：各种螺絲直徑請查有关表格，長短根據具体情況決定。在某种情況下为了不使橫槓杆浸在水中可以適当的調節"ㄈ"。



型号	横梢杆 ㄅ	ㄆ	ㄇ	ㄈ	ㄉ	ㄊ	ㄋ	ㄌ	ㄍ	ㄎ	ㄜ	ㄏ	ㄓ	ㄔ	ㄕ	ㄖ	ㄨ
1	340	170	340	50	938	22	10	38	85	30	10	170	537	8	10	463	475
2	390	195	390	60	1080	24	12	45	100	30	12	200	705	10	12	535	545
3	430	215	430	60	1180	24	12	45	110	30	14	220	780	12	14	585	595
4	500	250	500	80	1390	28	15	60	125	30	14	250	992	12	14	685	705
5	560	280	560	80	1540	32	16	60	140	40	16	280	1146	14	16	760	780
6	600	300	600	80	1640	32	16	60	150	40	16	300	1146	14	16	810	830
7	670	335	670	100	1855	36	20	80	170	40	18	340	1580	16	18	920	935
8	760	380	760	100	2082	36	20	80	190	40	18	380	1830	16	18	1030	1050
9	850	425	850	100	2305	36	20	80	215	40	18	420	1870	16	18	1145	1150

型號	木桶罩門 ㄅ	ㄆ	ㄇ	ㄈ	ㄉ	鉄箍 ㄅ	ㄆ	ㄇ	ㄈ	帶動桿 ㄅ	ㄆ	ㄇ	ㄈ	ㄉ	支承桿 ㄅ	ㄆ	ㄇ	ㄈ	ㄉ	ㄊ	ㄋ	ㄌ	ㄍ	ㄎ	ㄜ
1	486	514	260	14	10	514	520	7	3	18	8	根据具体情况决定	38	10	260	40	308	20	8	8	20	10	6	13	8
2	626	680	290	17	12	680	686	7	3	18	10		45	12	300	48	358	22	10	9	22	12	7	15	10
3	710	750	310	20	12	750	758	10	4	20	12		45	12	330	48	390	22	12	9	22	12	7	15	12
4	910	960	400	25	16	960	968	10	4	24	12		60	16	390	62	464	26	12	11	26	16	9	19	12
5	1050	1110	430	30	16	1110	1120	12	5	26	14		60	16	440	62	516	30	14	11	30	16	9	19	14
6	1060	1110	470	30	16	1110	1120	12	5	26	14		60	16	480	62	556	30	14	11	30	16	9	19	14
7	1460	1540	520	40	20	1540	1552	15	6	30	16		80	20	530	82	628	34	16	13	34	20	11	23	16
8	1710	1790	610	40	20	1790	1802	15	6	30	16		80	20	620	82	718	34	16	13	34	20	11	23	16
9	1750	1830	700	40	20	1830	1842	15	6	30	16		80	20	710	82	808	34	16	13	34	20	11	23	16

注：支承杆与發电机響樓板固定时要用垫片。
带动杆固定螺絲是固定在另一个鉄箍上，該鉄箍的尺寸与其他兩个鉄箍相同。
带动杆固定螺絲的尺寸請查有关表格。

型號	上端調速桿										調速螺絲		
	ㄅ	ㄆ	ㄇ	ㄈ	ㄉ	ㄊ	ㄋ	ㄌ	ㄍ	ㄎ	ㄅ	ㄆ	ㄇ
1	根	50	30	根	120	70	30	10	30	3	200	250	30
2	據	50	30	據	120	70	30	12	30	3	240	290	30
3	具	50	30	具	120	70	30	12	30	3	270	320	30
4	體	50	30	體	120	70	30	16	40	3	330	380	30
5	情	50	30	情	120	70	30	16	40	3	380	430	30
6	況	50	30	況	120	70	30	16	40	3	420	470	30
7	而	50	30	而	120	70	30	20	50	3	470	520	30
8	定	50	30	定	120	70	30	20	50	3	560	610	30
9		50	30		120	70	30	20	50	3	650	700	30

型號	下端調速桿											
	ㄅ	ㄆ	ㄇ	ㄈ	ㄉ	ㄊ	ㄋ	ㄌ	ㄍ	ㄎ	ㄜ	ㄏ
1	234	8	50	38	8	5	8.5	18.5	10	18	100	38
2	250	10	50	45	10	7	10.5	24.5	12	18	100	45
3	252	12	50	45	12	7	12.5	26.5	12	20	100	45
4	282	12	50	60	12	7	12.5	26.5	16	24	100	60
5	354	14	80	60	14	8	14.5	30.5	16	26	140	60
6	354	14	80	60	14	8	14.5	30.5	16	26	140	60
7	396	16	80	80	16	10	16.5	36.5	20	30	140	80
8	396	16	80	80	16	10	16.5	36.5	20	30	140	80
9	396	16	80	80	16	10	16.5	36.5	20	30	140	80

上端調速桿

下端調速桿（鑄鐵）

調速螺絲

調速器操縱盤座（鑄鐵）

手輪（鑄鐵）

支承環（鑄鐵）

型號	大皮帶輪									小皮帶輪								
	Dr	ㄆ	ㄇ	ㄈ	ㄉ	ㄊ	ㄋ	ㄌ	ㄍ	Dr	ㄆ	ㄇ	ㄈ	ㄉ	ㄊ	ㄋ	ㄌ	ㄍ
1	227	200	4	33	13	4.3	45	90	80	100	200	4	24	10	3.5			
2	340	110	4	36	15	4.6	45	90	80	180	110	4	30	12	3.9	等於發電机之軸徑	等於二倍的發電机之軸徑	等於二倍的發電机之軸徑
3	300	160	4	42	17	4.6	45	90	80	180	160	4	34	14	3.9			
4	469	90	4	43	17	5.3	45	90	80	320	90	4	38	16	4.6			
5	451	120	4	47	19	5.3	45	90	80	320	120	4	42	17	4.6			
6	457	130	4	42	17	5.3	50	100	90	180	130	4	32	13	3.9			
7	663	90	6	42	17	6.2	50	100	90	320	90	4	38	16	4.6			
8	577	130	6	46	19	5.8	50	100	90	320	130	4	45	18	4.6			
9	513	190	6	50	20	5.5	50	100	90	320	190	4	50	20	4.6			
10	470	210	4	60	24	5.3	50	100	90	320	210	4	54	22	4.6			
11	626	54	6	20	10	6	65	130	44	200	76	4	15	8	4			
12	828	140	6	53	21	7.0	65	120	110	320	140	4	45	18	4.6			
13	718	200	6	58	23	6.6	65	120	110	320	140	4	45	18	4.6			
14	642	240	6	63	25	6.2	65	120	110	320	240	4	58	23	4.6			
15	715	310	6	69	28	6.2	65	120	110	320	310	4	63	25	4.6			
16	740	74	6	20	10	6	70	140	60	200	100	4	15	8	4			
17	754	84	6	20	10	7	70	140	68	250	113	4	15	8	6			
18	863	290	6	71	28	7.5	70	130	120	320	290	4	58	24	4.6			
19	772	340	6	77	31	7.0	70	130	120	320	340	4	65	26	4.6			
20	779	126	6	20	10	7	70	140	101	360	166	4	20	10	6			
21	862	96	6	25	12	7	90	180	77	200	131	4	15	8	4			
22	878	110	6	25	12	7	90	180	88	250	148	4	15	8	6			
23	1000	380	6	87	32	8.0	90	170	160	320	380	4	64	26	4.6			
24	1032	128	6	25	12	8	90	180	103	360	167	4	20	10	6			
25	897	164	6	25	12	7	90	180	132	360	213	4	20	10	6			
26	827	80	6	25	12	7	90	180	64	250	102	4	20	10	6			
27	1015	330	6	75	30	7.5	90	170	160	320	330	4	60	24	4.6			
28	837	120	6	25	12	7	90	180	96	360	160	4	15	8	6			
29	752	164	6	20	10	7	90	180	132	360	162	4	20	10	6			
30	677	180	6	20	10	7	90	180	144	360	236	4	20	10	6			
31	946	100	6	25	12	7	100	200	80	250	134	4	15	8	6			

型號	大皮帶輪									小皮帶輪								
	Dr	ㄆ	ㄇ	ㄈ	ㄉ	ㄊ	ㄋ	ㄌ	ㄍ	Dr	ㄆ	ㄇ	ㄈ	ㄉ	ㄊ	ㄋ	ㄌ	ㄍ
32	1110	104	6	25	12	8	100	200	84	360	138	4	20	10	6			
33	967	168	6	25	12	8	100	200	135	360	121	4	20	10	6			
34	957	158	6	25	12	8	100	200	127	400	207	4	20	10	7			
35	873	202	6	25	12	7	100	200	162	400	162	4	20	10	7			
36	1184	130	6	25	12	8	110	220	104	250	169	4	15	8	6			

附注：小皮帶輪　ㄌ＝1.8～2.3

ㄍ＝1.5～1.83

ㄎ＝發电机軸直徑

本表中未列入的型号都需二次傳动，二次傳动的皮帶輪標准尺寸另补

二次傳動	型號	大皮帶輪									小皮帶輪									最小中心距離
		Dr	ㄆ	ㄇ	ㄈ	ㄉ	ㄊ	ㄋ	ㄌ	ㄍ	Dr	ㄆ	ㄇ	ㄈ	ㄉ	ㄊ	ㄋ	ㄌ	ㄍ	
	37	1000	200	6	110	44	8	110	198	176	500	200	6	95	38	6	70	126	112	2700
	38	1100	350	6	150	60	9	110	198	176	630	350	6	102	41	7	80	144	128	3200
	39	1000	200	6	124	50	8	120	216	192	550	200	6	91	36	6	70	126	112	2800
	40	1200	350	6	160	64	9	120	216	192	630	350	6	105	42	7	80	144	128	3300

二次傳動	型號	三角皮帶		三角皮帶輪溝槽(單位:吋)							大三角皮帶輪(公厘)								小三角皮帶輪(公厘)				
		型號(英制)	根	ㄍ	ㄎ	ㄘ	ㄏ	ㄓ	ㄔ	ㄕ	ㄅ	ㄆ	ㄇ	ㄈ	ㄉ	ㄊ	ㄋ	ㄌ	ㄅ	ㄉ	ㄊ	ㄋ	ㄌ
	37	D162～270	5	38°	1.283	0.300	1.05	$1\frac{7}{16}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{3}{32}$	800	70	126	112	39	16	½"	6	400	35	15	½"	4
	38	D210～360	7	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	1000	80	144	128	50	20	½"	6	500	36	15	½"	6
	39	C240～360	9	〃	0.899	0.200	0.78	1	$\frac{11}{16}$	$\frac{1}{16}$	1000	70	126	112	43	17	⅜"	6	300	33	14	⅜"	4
	40	D240～360	8	〃	1.283	0.300	1.05	$1\frac{7}{16}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{3}{32}$	1000	80	144	128	50	20	½"	6	360	40	16	½"	4

注：小三角皮帶輪的ㄈ，ㄇ及ㄆ根据發电机軸直徑而定。

法蘭盤

鉄箍

拉桿

D_1

D_2

δ

L

尾水管進口直徑 D_1 = 底环内徑

尾水管出口直徑 $D_2 = 2\sqrt{\frac{Q}{\pi V_{\text{вых}}}}$

最小尾水管長 $L = H - h_0 + 0.30$ 公尺

$V_{\text{вых}} \leq (0.5 \sim 0.7)\sqrt{H}$

h_0 = 水輪室水深

20—18

十一、已成小型水电站圖紙彙集說明及利用渠道跌水建筑小型水电站設計示例

圖　号	水头（公尺）	流量（秒公方）	出　力（瓩）	电　站　形　式
1	1.5	2.7	26.4	混合式
2	2.0	6.0	35.0	引水道式
3	3.0	3.5	18.0	引水道式
4	1.8	3.0	21.0	引水道式
5	1.6	2.8	26.0	河床式
6	5.0	5.0	162.0	堤壩式（灌漑渠道跌水）
7	12.0	0.14	16.0	混合式
8	2.0	3.0	45.0	混合式
9	15.0	1.0	74.0	引水道式
10	10.0	1.5	100.0	引水道式
11	12.0	2.5	130.0	引水道式
12	3.0	1.0	20.0	引水道式
13	6.0	0.25	20.0	引水道式
14	11.7	3.67	264.0	引水道式
15	3.7	0.5	9.0	堤壩式
16	5.0	1.5	40.0	混合式
17	20.0	0.2	20.0	混合式
18	2.5	1.5	11.0	混合式
19	1.6	3.0	30.0	混合式
20	3.5	1.5	22.0	混合式
21	1.5	0.8	5.0	河床式
22	3.0	0.9	11.0	引水道式
23	30.0	0.07	15.0	引水道式
24	3.2	2.5	50.0	壩后式
25	5.0	6.0	180.0	引水道式
26	5.6	3.9	142.0	混合式
27	20.0	2.5	400.0	混合式
28	4.5	4.0	100.0	堤壩式
29	6.0	2.5	100.0	堤壩式（渠道跌水）
30	10.0	0.75	50.0	引水道式
31	利用渠道跌水建筑小型水电站設計示例			

本彙集中收入的小型水电站的特点一般地是：利用自然条件修建、就地取材、厂房結構簡單等，因此，適合于農村的条件。有些厂房采用了木結構，这在產木地区宜于廣泛采用，一方面可以節省投資，另一方面它的施工不大受气候条件的限制，在冬天可以在室內做好零件，到工地裝配一下就可以了。

收入本彙編的小型水电站的开發方式是多种多样的：有利用桥孔的；有利用跌水的；也有利用山溪中高水头小流量的；也有利用低水头大流量的。这些开發方式是適合于我國多种多样的自然条件的。因此都有参考价值。

它們的缺点也是不少的，这些都已叙述在以下各个电站的說明里，这里不再重复。

圖 1 說 明

本电厂为堤壩混合式。自灌溉渠道上引水，电厂容量 26.4 瓩，設計水头 1.5 公尺，最大水头 2.0 公尺，最小工作水头 1.0 公尺，实际引用流量为 2.66 秒公方。

电厂裝有二台 14.5 瓩的立式鉄制旋槳式水輪机，二台臥式發电机，二台手动的旋轉外罩式調速儀，二者通过齒輪与軸可以联动。

擋水壩为一木質溢流壩，基礎采用木籠石塊。

由于冬季水量不足，电厂附設一台煤气机。本电厂还進行榨油等副業生產。

本电厂的各項經济指标为：每裝机瓩价值 1,180 元，成本 0.12 元，实售电价为每度 0.44 元（或每月每 15 瓦 1.25 元）。电价比成本貴很多，原因是火电成本較高，每度达 0.37 元。

电厂直接运轉人員共 5 人，間接运轉人員 3 人，每天运轉 6 小时，主要用戶为照明用电。

本电厂的优点为：

（1）樞紐布置較合理。它利用了原有水碾碾址，將原引水渠道稍为疏浚而成，引水道較直，水头損失較小，同时排洪道也具有足够的泄洪能力；

（2）具有較永久性的水工建筑物，如木質溢流壩基礎采用木籠石塊，这样年修理費用很少，而建筑物投資也不貴。

本电厂的缺点为：

（1）尾水管入水深度不够，因此在下游水位稍为降低时，尾水管出口即露出水面，進入空气，降低出力。同时尾水管無擴散角度，不能很好地恢复动能；

（2）厂房地板高程过低，加上擋水壩的木叠梁閘門啓閉不灵，所以洪水來臨或机組突然停开时，渠道中会發生壅水現象，水会淹入厂房。若在擋水壩上用一个电动控制閘板，則操作就灵活得多。溢洪壩离电厂太远，管理不便。

圖 2 說 明

此为一自大河中引水的引水道式电厂，电厂容量設計为 60 瓩，实际目前出力僅达 35 瓩；設計水头为 4.0 公尺，流量为 10 秒公方，实际水头僅 2.0 公尺，流量約 5～6 秒公方。

本电厂为發电与碾米相結合，各用一台容量为 60 瓩的立軸木制旋槳式水輪机，在發电部分，又另备一台直徑为 80 公分的小木質水輪机，帶动一 2.5 仟伏安的單相

直流电机，供厂內照明和剧場照明等，这样当白天这些用戶需电时，不必开大机組。水輪机無調速設备。

本电厂的特点为充分利用当地材料，如進水口樞紐布置圖中所示，用竹席与木支撑所造的攔水建筑物很經济。由于电厂本身是建筑在洪水灘地上，灘地坡降約2.5%，为了獲得水头，在引水渠進入电厂之前，建了一个人工蓄水庫，它是利用河灘中的砂石圍堤而成，造价很便宜。为了防止季節洪水冲坏圍堤，在圍堤外又建立了兩道砂石丁壩（如樞紐布置圖所示），使动水变成靜水。另外，在厂房建筑上，由于当地条石价錢較貴，混凝土更貴，所以該厂采用了自制的人造石（成分为石灰、砂石加水）。在机械設备上采用了自制的木質水輪机。

因此，本电厂的造价較低，每裝机瓩的投資为 470 元，成本为 0.11 元。在成本中，修理費用占的成分較大，这是由于本电厂在很多地方采用了非永久性的建筑物，但从总的方面來看还是比較經济的。

电厂运轉每天僅 6 小时，全部为照明用电。

本电厂的缺点为：

（1）厂內沒有必要的儀表設备，例如發电机的电压表、电流表、周波表及励磁机的电压表和电流表等。同时本电厂連熔断器也沒有。缺乏必要的儀表設备，对發电机的安全及用电質量都有影响。

（2）机組的效率很低，只有20%～30%。这是由于水輪机制造得不好、沒有尾水管、水輪机室寬度不够和二次轉动等各种原因造成的。

圖 3 說 明

此为一自大河中引水的引水道式电厂，电厂容量为 18 瓩，水头 3.0 公尺，流量約 3.5 秒公方。

引水方式为在大河中建一高 1 公尺左右的攔水堰，这个堰由木籠石塊作成。在引水渠口有一簡陋的進水閘，在洪水时用來控制進入渠道的水量。

厂房內設有一台法蘭西斯水輪机与一台木質旋槳式水輪机，容量各为 20 馬力左右，各帶动一台为 15 仟伏安的發电机及一台 3 仟伏安的發电机。本电厂結合碾米加工。用閘門調節流量。

厂房結構大部分为木結構，基礎为平鋪木条。建造时对基礎沒有开挖与处理。

本电厂的特点是就地取材。在厂房建筑上吸取了当地老鄉造房子的經驗，大胆嘗試。

本电厂的造价極低，每裝机瓩造价只有 272 元。

电厂缺点为：

（1）碾米机与發电机放在同一房間內，很不方便。同时碾米时灰塵很多，不利于發电机的絕緣保护，最好使碾米机与發电机互相隔开或分別在兩个方向；

（2）發电机离牆壁很近，运轉人員無法檢查；

（3）所用木質法蘭西斯水輪机的性能不好，轉速太低，結構笨重，机組效率極低。这是由于水輪机笨重，沒有尾水管和傳动設备所致。

圖 4 說 明

本电厂为直接引用河水的引水道式水电厂，容量21瓩，水头1.8公尺，流量3.0秒公方。电厂与碾米加工相結合，二者隔开，互不影响。

电厂每裝机瓩价值为1,700元，成本0.38元。

电厂在厂房布置上存在很大缺点：

（1）水輪机調速儀与發电机配电板在兩个房間，不但調速不便，而且必須要兩个运轉人員；

（2）傳动軸攔住走道，自發电机到調速儀必須跨过傳动軸，易出危險。应該將發电机与配电板搬到外間來，同时將水輪机室上的房間擴大，以便于走路；

（3）水輪机室寬度不够（应該有3～4倍水輪机直徑，即应有5公尺，現只有0.3倍直徑），尾水管太短，其出口离水輪机室底过近（这一距离最小应等于水輪机直徑，但这里只有0.3倍水輪机直徑），同时尾水管露出水面，影响水輪机的效率。

圖 5 明 說

此为一不承受水压的河床式电厂，电厂容量为26瓩，水头1.6公尺，流量2.8秒公方。

电厂的修建利用了三个桥孔，將一个作为电厂尾水渠，其余二个作为泄洪閘。同时將电厂尾水与河中水流用竹簍石塊筑成的導牆隔开，并將尾水渠稍为挖深，取得水头。这种方式，適用于河面較寬、坡降不大的河流。

本电厂利用手推旋轉閘門進行調速，比直升木閘門方便，在操縱閘門时，可同时看到配电板上的儀表，运轉方便。

电厂每裝机瓩价值約400元，成本不到0.10元。

下部木制衛軸承的形式对于泥砂較多的水中較为適合，因为这样使主軸不与任何固定的机件發生摩擦，不然主軸極易磨損。

由于建了电厂，洪水集中在二个桥孔中流过，所以二桥孔底脚基礎应很好加固。目前僅用竹簍石塊加固，桥脚已被冲刷。

圖 6 說 明

本电厂利用了長达7公里半的灌溉引水渠道，獲得了5公尺的水头，流量为5秒公方，电厂容量162瓩。

厂內裝有一台立軸旋槳式水輪机，用自动調速儀調速，一台由臥式改造成的立式發电机，用人字齒輪一次轉动。

本厂的特点为利用了很多自动化裝置，以減少人力。本厂試制成了自动电压調整器，又改造成了自动調速儀，創造了閘門的电动啓閉、油循环系統、油指示灯、温度指示灯、水位指示灯和飛車保險等。他們还結合厂內布置的調整將每班运轉人員自6人減为2人。

本电厂每裝机瓩的价值为230元，成本为0.07元。

圖 7 說 明

本电厂为混合式，利用瀑布落差發电。

电厂容量16瓩，水头12公尺，流量0.14秒公方。枯水流量無保証。

引水渠道（石头砌成）与木質水管的接头在懸崖上，人过不去，不易檢查。

尾水管無擴散角度，不能利用通过水輪机以后的水能。

配电板与調速儀的距离較大，管理不便。如將机組安裝在左边（向下游看），配电板調速儀布置在右边，則問題就解决了（此时引水渠也要向左移，木質水管也要加長些，但这样就安全多了）。

电厂每裝机瓩价值为900元，成本0.19元。

圖 8 說 明

本电厂为堤壩混合式，自灌溉渠道上引水發电。电厂容量45瓩，水头2.0公尺，流量約3.0秒公方。

厂內裝有二台水輪机，总容量为88瓩，共同帶动一台容量为50仟伏安的發电机，实际出力僅45瓩，所以水輪机設計容量过大，实际只要一台旋槳式水輪机即可。

由于洪水要淹沒第一層厂房，所以將發电机和配电設备放在樓上。但調速儀的操縱則一个在樓上一个在樓下，很不方便。应把二个調速儀联动，只要一人在樓上操縱即可。

尾水管太短，同时淹沒深度不够。水輪机室寬度也嫌小些。

避雷器为6.6仟伏，而發电机为3.3仟伏，所以避雷器不能保护發电机，尤其是沒有变压器的高压出綫，因而發电机曾遭过雷击。

圖 9 說 明

此为一引水道式电厂，利用河道中的陡坡。电厂容量74瓩，水头15公尺，流量1.0秒公方。

由樞紐布置圖可見，引水渠道弯曲太大，这是由于渠道沿綫地質条件不好，極易坍方，不能建前池，所以把厂址放在这一地点。

進水口的兩道進水閘只用里面的一道進水閘就够了，可以節省一道閘門。

傳动設备采用三角皮帶是合適的，因为厂房需要挖方，采用三角皮帶可以節省厂房面積（虽然按它的傳动比数而言应采用平皮帶），以減少挖方。

輸电电压2,300伏（發电机电压2,300），輸送距离約六公里。电压不足，应設升压站，并改用6,000伏电压輸电。

电厂每裝机瓩价值为1,100元，成本0.09元。

圖 10 說 明

引水道式电厂，电厂容量100瓩，水头10公尺，設計流量1.5秒公方。在輸电方面有与圖8同样的缺点。

圖 11 說 明

本电厂为引水道式电厂，水头12公尺，最大引用流量为2.5秒公方，平时为1.3秒公方。裝設一組联动机，容量130瓩。供給城鎮照明及小型工業用电，并与一个容量为130瓩的木炭發电机联合运轉，本电厂年發电量为680,000度，年利用小时数达5,100小时。

本电厂布置比較緊湊，但配电板离手动調速器太远，又不是面对操作人員，因此工作不方便，配电板以放在操縱調速器的人的对面較好。

圖 12 說 明

本电厂为引水道式，水头3.0公尺，水輪机容量約20瓩，發电机容量18.5仟伏安，轉速1,800轉/分，本厂加工間与發电机間分开是比較合適的。

圖 13 說 明

实际利用水头6.0公尺，流量0.25秒公方，水輪容量20瓩（水輪机設計水头9公尺，設計流量0.5秒公方），發电机容量为7.5瓩，电能全部用于照明。最大負荷約1.5瓩。厂房全部为木結構。

缺点是，压力水管進水口上緣露出水面，尾水管出口亦露出水面，影响引水效率和水輪机效率。按技術要求，压力水管上緣至少应埋入水面以下0.5公尺，尾水管出口至少埋入水面以下0.3公尺。压力水管的弯曲处应有鎮墩。

水头为6.0公尺，可以不用压力水管引水而用开敞式水輪机室。

圖 14 說 明

水头11.7公尺，容量330仟伏安，最大流量3.67秒公方，平均年發电量408,000度，利用小时数为1,530小时。供电对象为小城市照明和小型工業动力用电。

該厂缺点是：

（1）厂房的附屬房間如文娛室等放在主厂房一起，使主厂房运轉时不安靜。修理間过大并单独設立工具間，因而增加了厂房的建筑面積；

（2）二个机組放在二个厂房里，增加了厂房建筑面積，也增加了运轉人員和运轉費用；

（3）發电机層太低，以致洪水时發电机出綫浸入水中而必須停止运轉。

圖 15 說 明

本厂以碾米、磨粉为主，晚上附帶供应照明用电，照明共30多盞灯（每灯25瓦）。加工設备由水輪机直接帶动。水头3.7公尺，水輪机出力12馬力，發电机容量2.5仟伏安。厂內另設有10馬力木炭机，当上游灌溉用水时，电厂水量不足即用木炭机發电。

它的缺点是：电厂的兩套（火电和水电）設备，并未增加电厂生產量，不經济。从經济利用設备的观点來看，应該擴大非枯水期的加工量和用电量，充分利用木炭机。在枯水期，就在晚上停止部分加工而專門供給照明。

圖 16 說 明

水头5公尺，水輪机容量44瓩，帶动兩部發电机，每部20瓩。

它的缺点是：

（1）發电机为直流，电压太低，因此不能做較远距离的輸电；

（2）一个水輪机帶兩个發电机，增大了厂房面積，并不增加多少运轉的可靠性，也不增加發电机效率（發电机效率变化極小）。

圖 17 說 明

水头20公尺，容量25仟伏安，引用流量0.2秒公方，平均年利用小时数为1,815小时（按1952～1954年三年的統計）。电力用于碾米和小城鎮照明。

水輪机一台是自己設計的輻流式水輪机，直徑23公分，轉速1,100轉/分，效率

70%左右。

它的缺点是：

（2）厂房面積还可以大大縮小；

（2）尾水管太短，出口未沒入水中，应加長尾水管或降低水輪机安裝高程。

圖 18 說 明

本电站利用水头2.5公尺，引用流量1.5秒公方。采用了上冲式水輪机，它的直徑为2.16公尺（長1.46公尺）。水輪机出力11.0瓩。發电机容量为14瓩（实际出力僅11瓩）。

本电厂的缺点是：

（1）上冲式水輪机效率过低，水力沒有充分利用。如改成木制旋槳式水輪机，可增加發电量至28瓩（可增加一倍）；

（2）傳动設备变速次数太多，降低了水能利用率并增大了厂房建筑面積。

圖 19 說 明

本电厂为水力發电和水力碾米合一的厂。水头1.6公尺，水輪机出力30瓩，發电机容量2.5瓩。其余为碾米用动力。

水輪机是旋槳式，轉子为鉄制，導水設备为木制。

它的缺点：發电机与碾米机放在一个房間內，不能保持發电机清潔，影响發电机安全运轉。

圖 20 說 明

本电厂为混合式。容量22瓩，水头3.5公尺，流量1.5秒公方。

电厂裝有二台旋槳式水輪机，总容量为33瓩。但只一台容量22仟伏安的發电机。

电厂晚上运轉6小时，白天碾米，碾米机三台总容量33瓩。

水輪机的布置方式不好，二台水輪机并联在一根橫軸上，由于出力与轉速不相等，影响傳动齒輪与軸的受力不均。

配电板与机器的間距僅0.5公尺，运轉不便。

厂房高度不够。

無調速儀，用閘門調節流量。但閘門在厂房外面，重量又很大，运轉不便。

閘門高程不够。因此当突然关門时，渠道中水位突然上升。水淹过閘門，冲進水輪机室，水輪机重新开动，很危險。由于沒有前池設备，故停車时棄水很高。

本电厂是低压輸电，但送电距离远达3公里，故电压損失达30%～40%，灯光不亮。应加裝升压和降压設备。

圖 21 說 明

本电厂为河床式，容量5瓩，水头1.5公尺，流量0.8秒公方。

厂內裝有一台木質法蘭西斯型水輪机。

由于水輪机轉速太低（僅45轉/分），發电机有1,500轉，傳动比数达33，所以采用木質法蘭西斯水輪机不合適。

水輪机室基礎用圓木鋪底，由于圓木間距稍大，又加上是軟基，故基礎刷深約30

公分，危及边墩的安全。

本电厂的特点为水輪机結構很簡單，水輪机轉子、導水叶、主軸和傳动齒輪都用木制。無上部推力軸承，僅用下部一个嵌入木梁中的六角鉄承担水輪机的全部重量。所有这些东西都是可以就地取得的。它的缺点是笨重，且效率低。

圖 22 說 明

本电厂为引水道式，利用灌溉渠道上的坡降取得水头。电厂容量 11 瓩，实际利用水头 3.0 公尺。流量 0.9 秒公方。

本电厂在土木結構上多半是利用旧木料建筑，并尽量使用了三合土，条石与磚都用得極少（如水輪机室，磚与条石僅用以护面），因此造价較便宜。

电厂应有的水头为 4.8 公尺，实际利用水头只有 3.0 公尺，这說明电厂存在二个問題：

（1）水進入水輪机室时水头損失太大（由于閘門調節流量及進入水輪机室时的坎太高）；

（2）水輪机效率較低。当水头为 4.8 公尺时过水能力大于 0.9 秒公方，因而水輪机室中水裝不滿。在这种情况下，采用法蘭西斯水輪机可能好些。

配电板上的变阻器应放在配电板正面，以便于調節。

电厂每裝机瓩投資为 700 元，成本每度 0.95 元，这是由于电厂人員过多（达 7 人之多）及年發电量过小的緣故。

圖 23 說 明

这是一个利用山溪泉水建筑的水电厂。水头 30.0 公尺，出力 15 瓩。裝有一台 15 瓩的兩击式水輪机及横軸發电机机組，厂內布置很簡單，水輪机和發电机用三角皮帶傳动。它的优点是厂房很緊湊簡單。宜于高水头的小型水电厂参考用。

圖 24 說 明

本电厂为壩后式，容量 50 瓩，水头 3.2 公尺。

厂房为井式，机电設备分三層布置，运轉非常不便。上下樓梯不宜采用攀梯，因为运轉人員上下不便攜帶工具，同时易發生人身事故。

發电机層樓板应全部鋪好，这样可將配电板移至發电机層，同时可增加安全。若傳动設备改为三角皮帶，并采用立式發电机，則全部設备都可移到第一層。

电厂每裝机瓩价值为 1,200 元，成本 0.159 元。

圖 25 說 明

本电厂为引水道式，容量 180 瓩，水头 5 公尺，流量 6 秒公方。

厂內裝有三个 60 瓩的机組，原來都用半交叉皮帶傳动，現在全部改用三角皮帶傳动，因此發电机与水輪机間距离自原來的 8 公尺左右縮至 1.8 及 2.1 公尺，節省厂房面積很大，同时运轉也方便很多。

机組数目过多，可減少为二个机組。

电厂每天运轉 24 小时，每裝机瓩价值为 1,200 元，成本 0.09 元

圖 26 說 明

本电厂为混合式，容量为 142 瓩，水头 5.6 公尺，流量 3.9 秒公方。

本电厂引水渠道为灌溉、發电合用。厂內裝有二个机組，一为旧有的，一为新裝的，故二机組容量与形式不同。立式机組厂房內布置較好。它的缺点为二机組分别在二个房間內。事实上可將新安的立式机組与旧机組裝在一个房間內。尾水渠可以擴大，以便共同使用。

由于河流水量大，攔河壩采用砌石壩（壩基与壩体采用干砌塊石，表面用漿砌条石）。

圖 27 說 明

本电厂水头 20.0 公尺，引用流量 2.5 秒公方，电厂出力 400 瓩。

木質压力引水管長 50.6 公尺，直徑 1.1 公尺，管厚 5 公分（2 吋），鋼箍直徑 2 公分。木管弯曲处接以鋼管接头。本厂布置比較緊湊，設备也較正规。

圖 28 說 明

本电厂利用已經建成的灌溉渠首攔河壩所造成的水头 4.5 公尺及灌溉引水后的剩余水量來發电。引用流量为 4.0 秒公方，水輪机設計出力为 100 瓩。水輪机为木制旋槳式，直徑 120 公分。全部按照苏联規格做成，使用情况良好。本电厂由于利用了已成工程及依靠了当地羣众出工出料和利用了旧發电机等方面，所以造价很低。

圖 29 說 明

本电厂利用灌溉渠道上兩級連續跌水的 6 公尺水头和 2.5 秒公方的水量。水輪机出力 110 瓩，發电机出力 100 瓩。在布置上比較簡單，厂房面積也適当。它的供电对象是抽水用电、城市和鄉村照明、碾米和打谷用电。它的溢水建筑物利用了原有的跌水上的插板閘門，未另設建筑物。

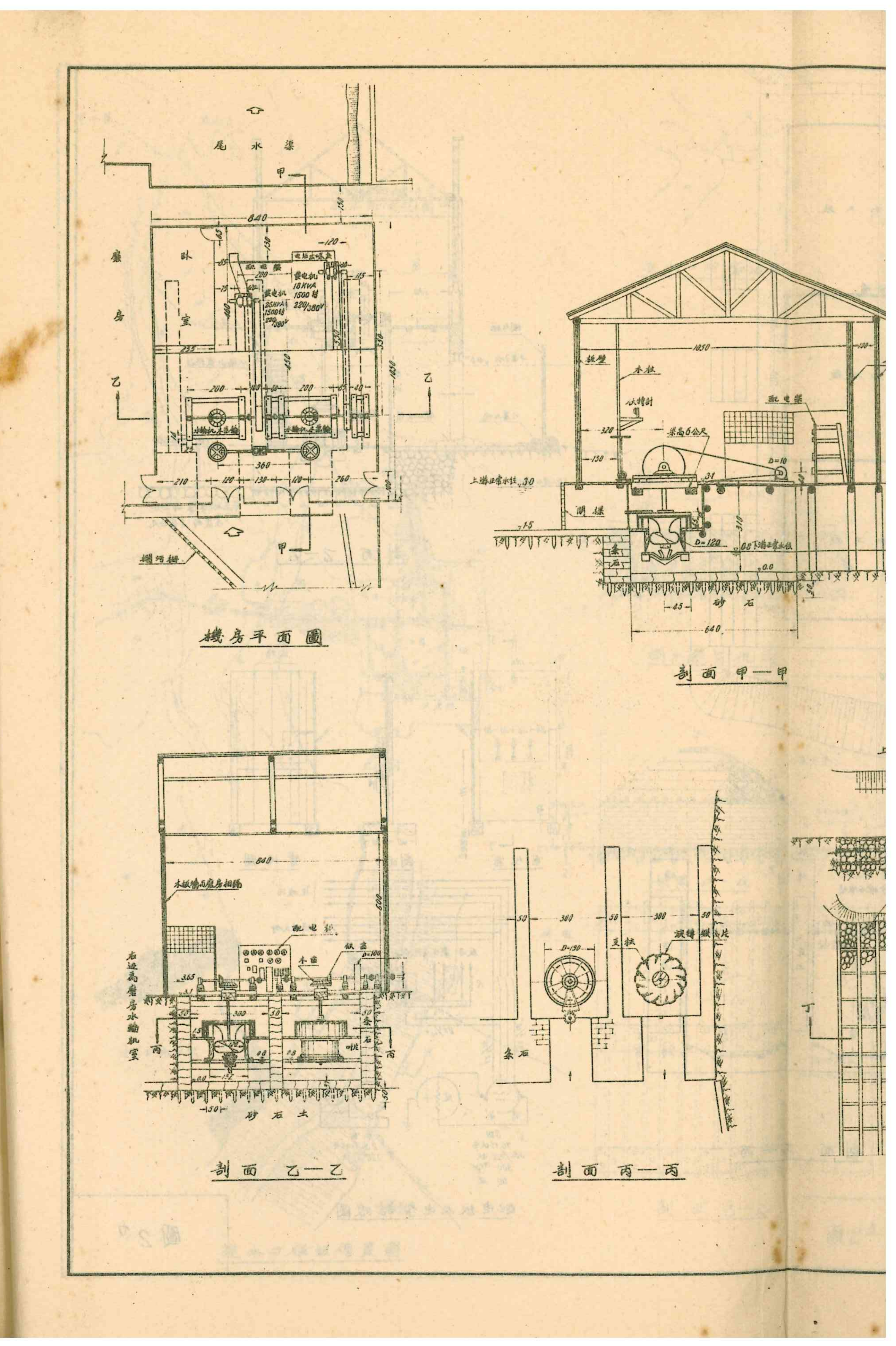
圖 30 說 明

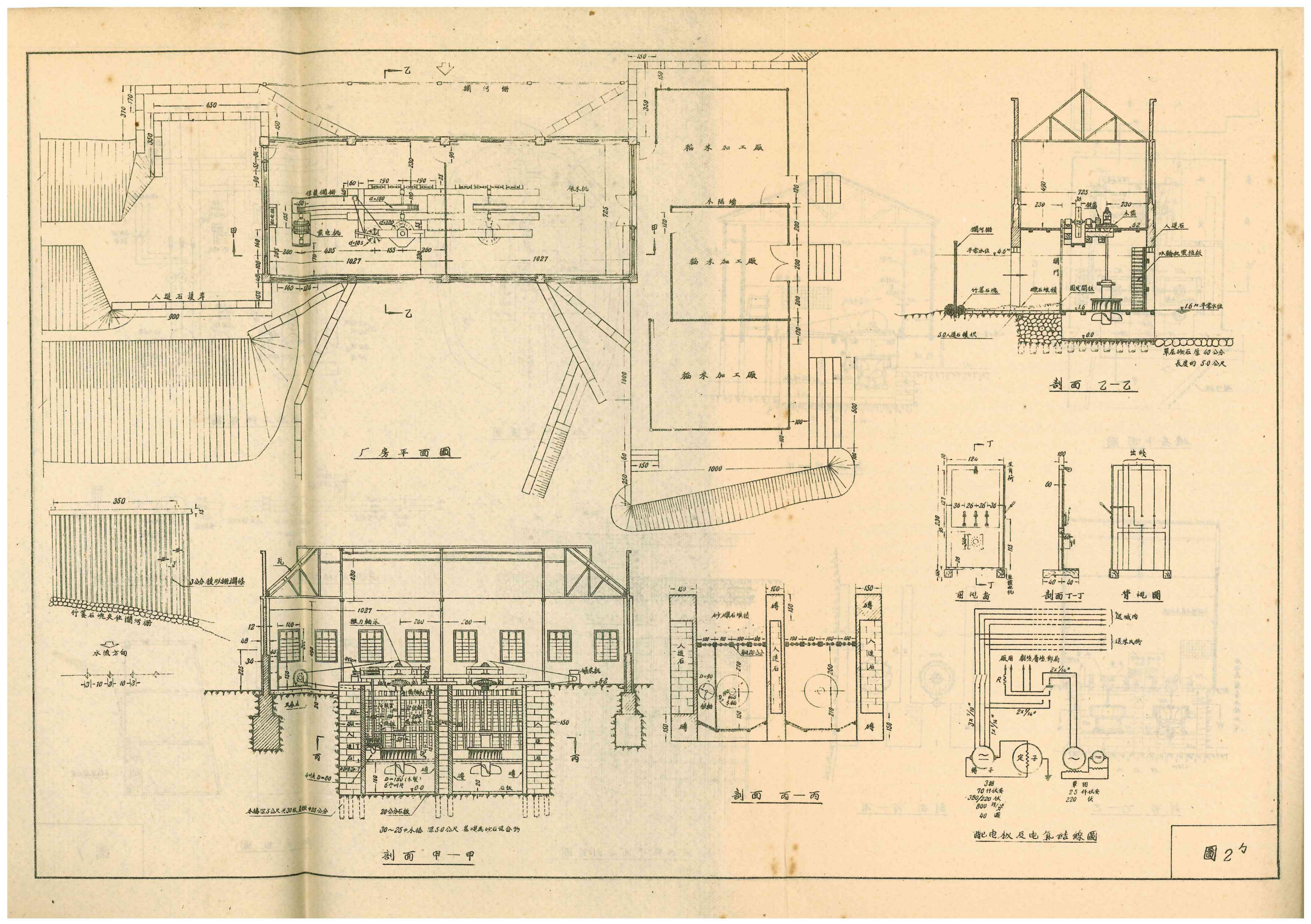
本电厂为一長引水道式水电厂，其引水渠道長达 2 公里。利用水头 10 公尺，引用流量 0.75 秒公方。水輪机設計容量为 50 瓩，發电机容量亦为 50 瓩。供給附近農村照明及石料加工用电。本厂的建筑主要是利用附近石料加工場廢弃的塊石，造价便宜。本电厂利用了木質压力水管。这种水管在非產木区，与鋼管比較并不便宜，而且寿命較鋼管短很多，不一定適用。木管僅適合于木材比較便宜的產木区附近采用。

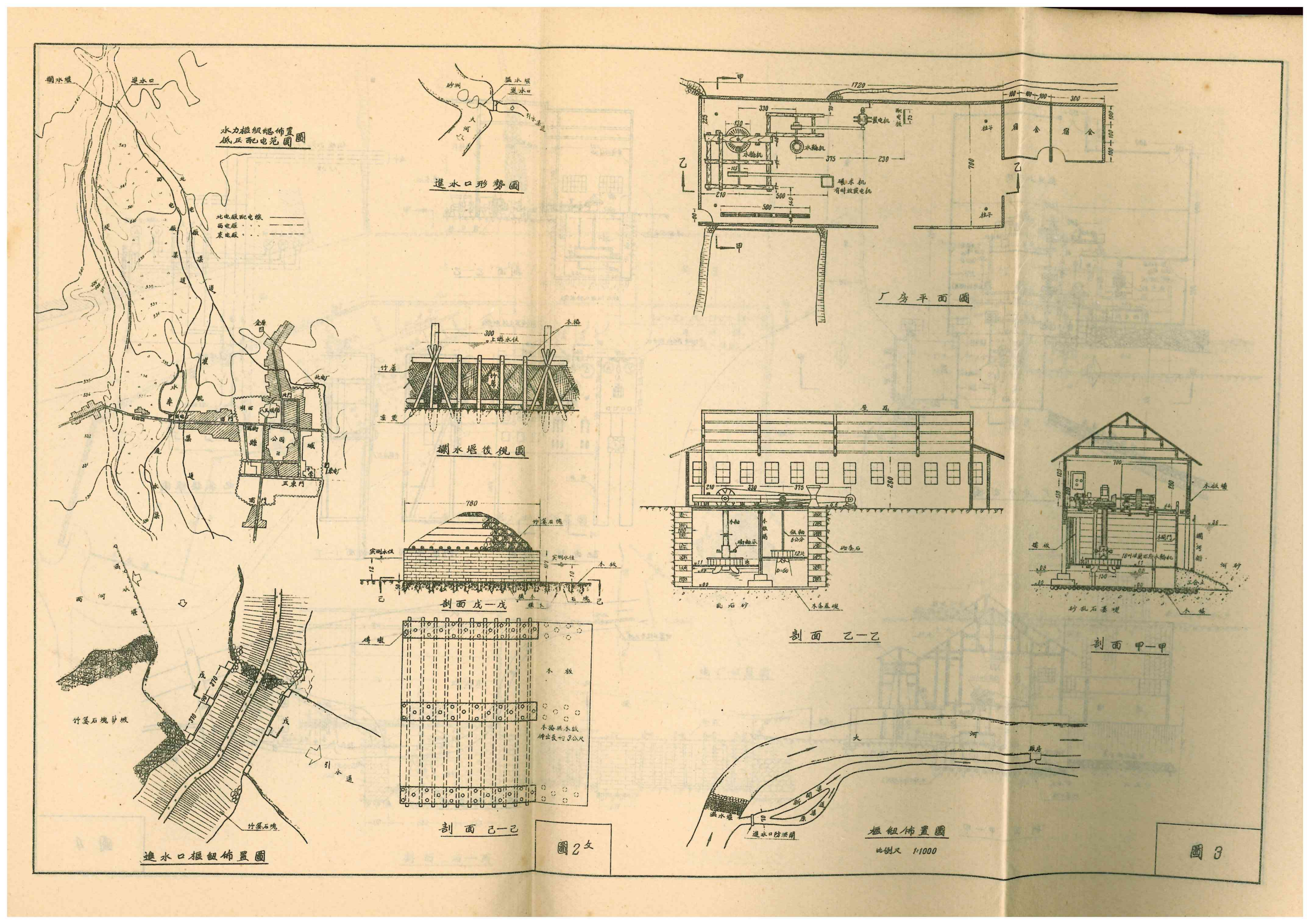
本电厂采用了兩击式水輪机，該水輪机構造簡單，制造方便，適于農村水电站应用。效率可达 80% 左右。

圖 31 說 明

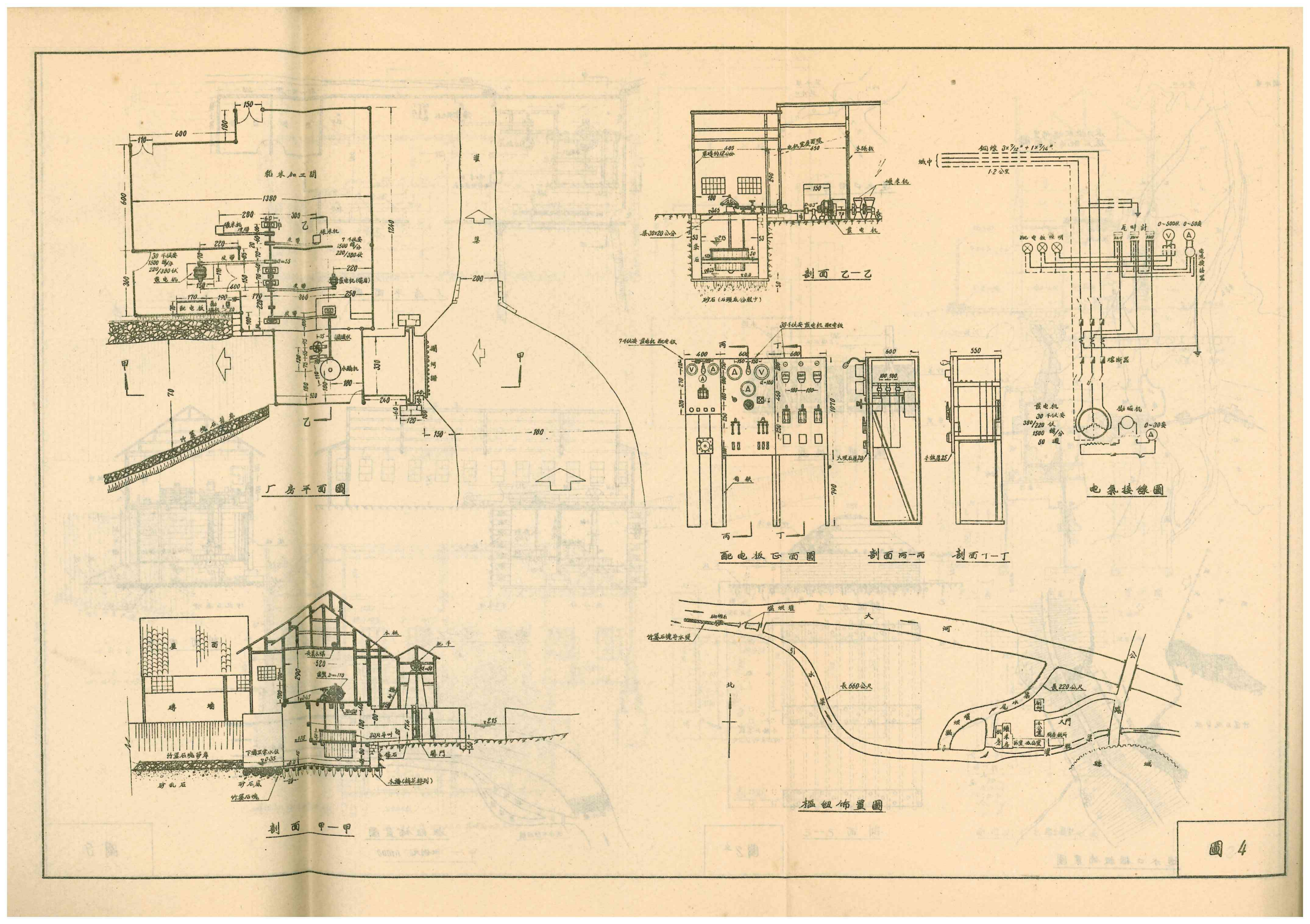
本电厂系利用渠道跌水建筑小型水电站的設計示例。


尾水渠
機房平面圖
剖面 甲—甲
剖面 乙—乙
剖面 丙—丙
砂石

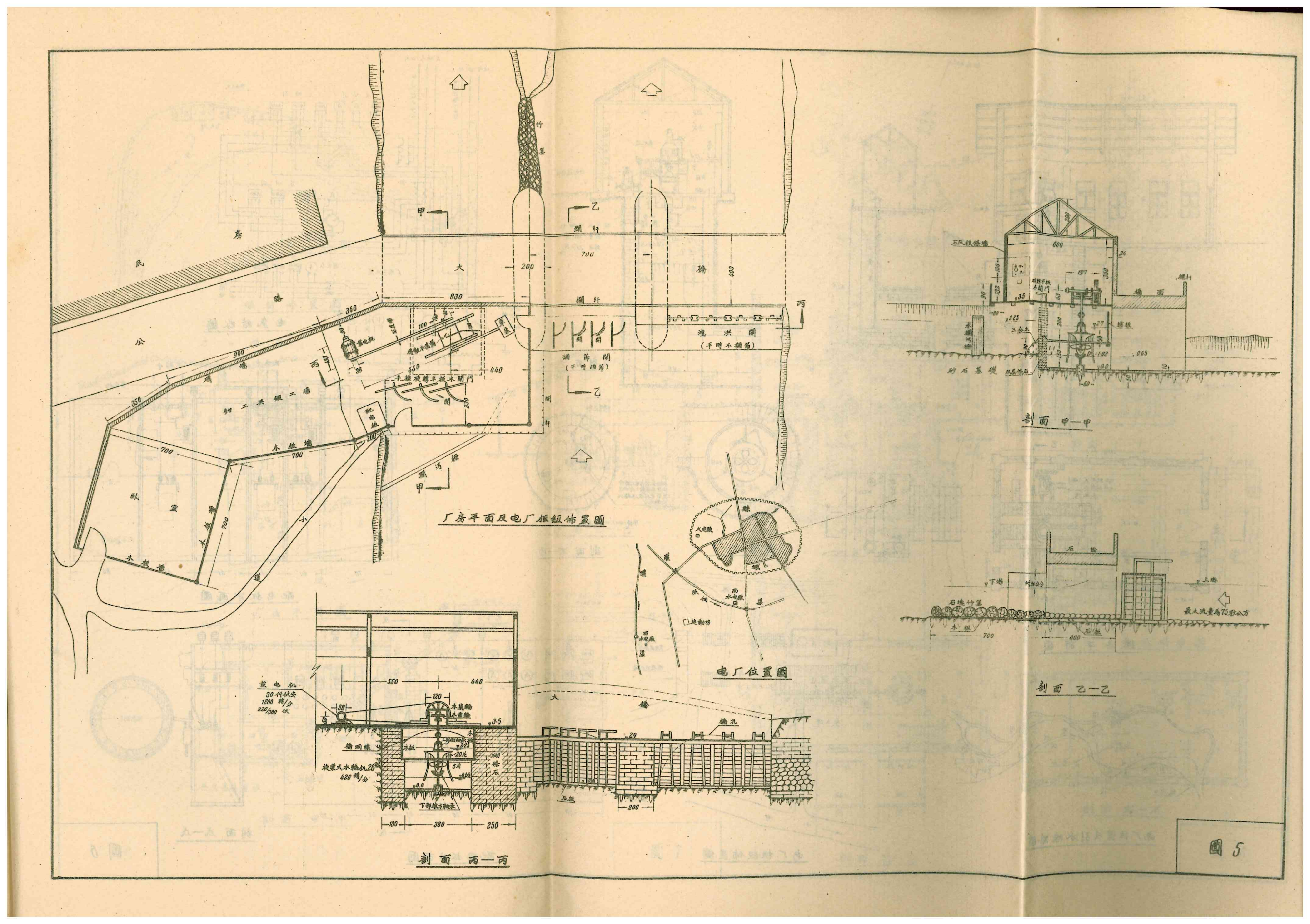

厂房平面圖
稻米加工厰
木隔墙
發电机
人造石護岸
剖面 甲—甲
剖面 乙—乙
剖面 丙—丙
竹簍石塊夾住攔污栅
水流方向
正视圖
剖面丁—丁
背视圖
配电板及电氣結線圖
送城内
送米此衔
圖2ㄅ



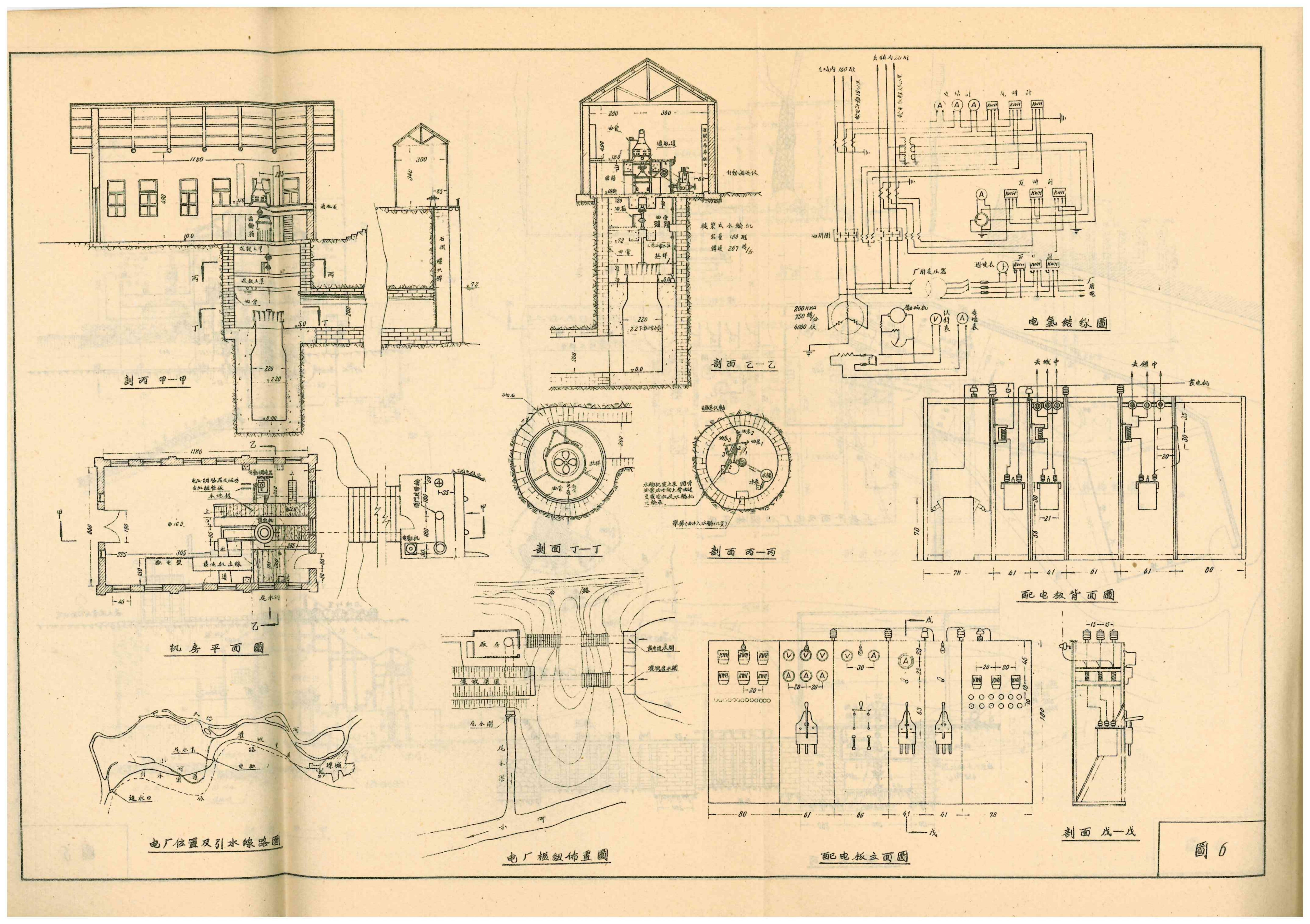
水力樞紐總佈置圖
低压配电范圍圖
進水口形勢圖
攔水堰後視圖
剖面戊—戊
剖面己—己
進水口樞紐佈置圖
圖2文
厂房平面圖
剖面 乙—乙
剖面 甲—甲
樞紐佈置圖
比例尺 1:1000
圖3

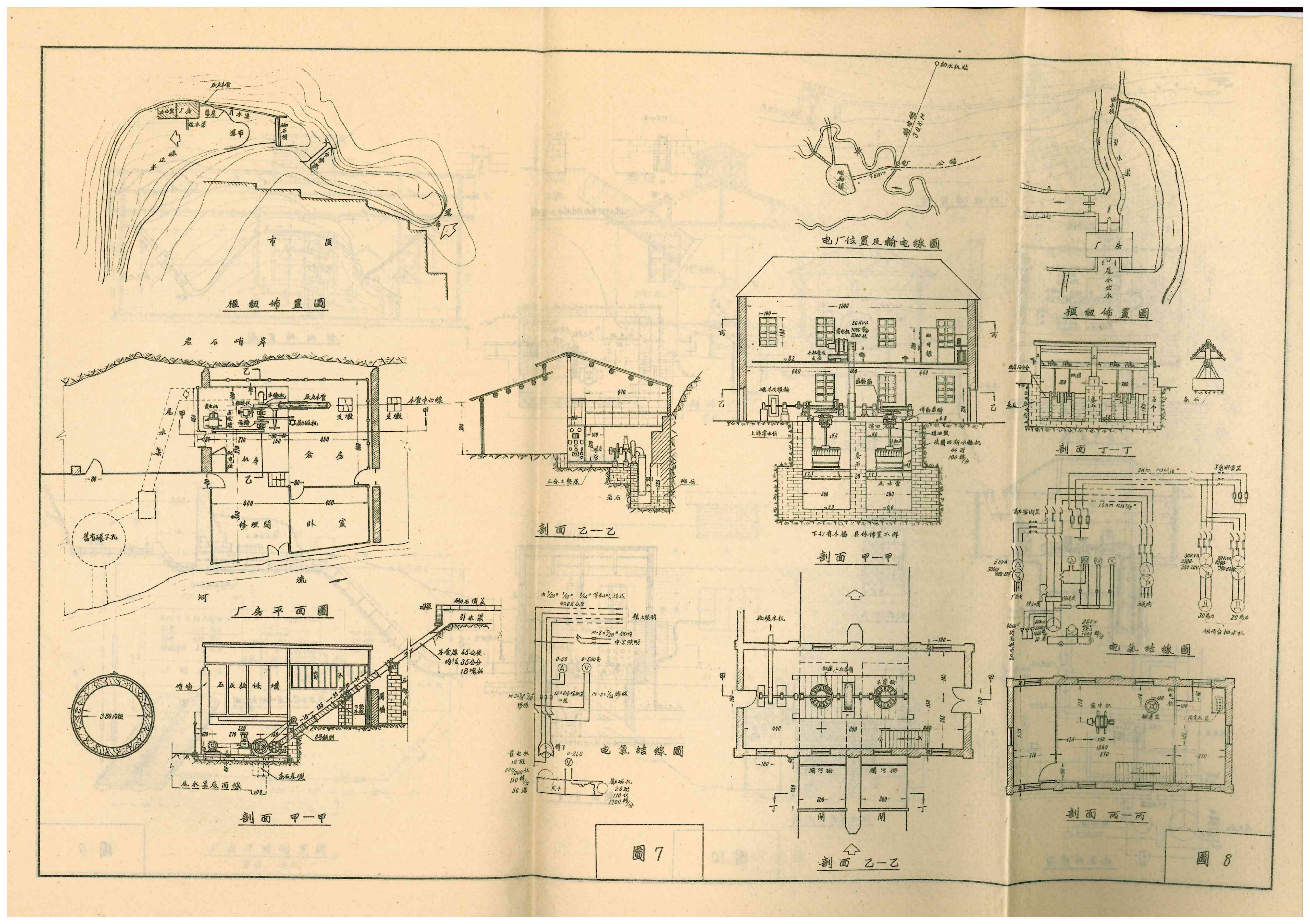


碾米加工間
廠房平面圖
剖面 乙—乙
配电板正面圖
剖面丙—丙
剖面丁—丁
电氣接線圖
剖面 甲—甲
樞紐佈置圖
大
河
圖 4

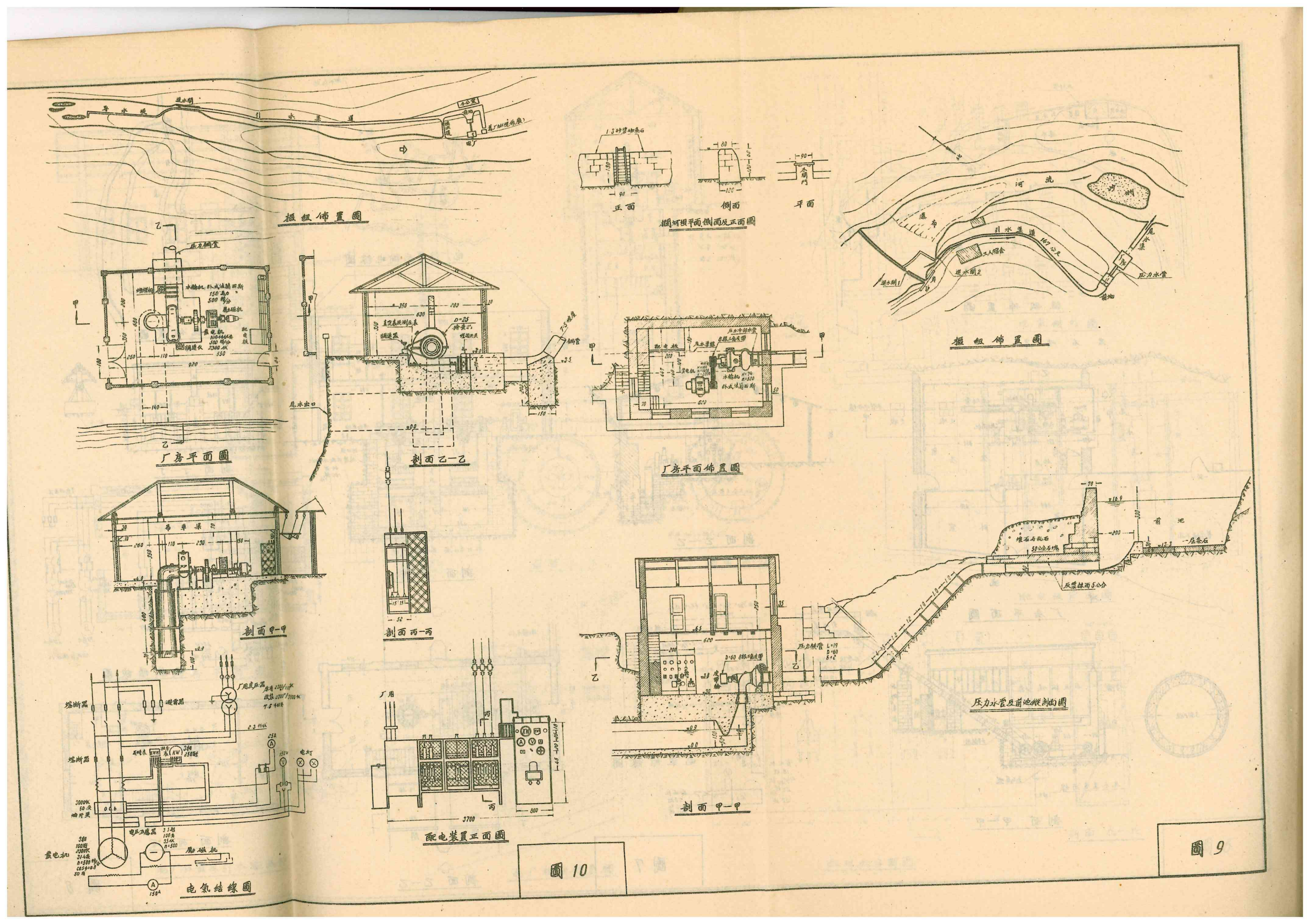


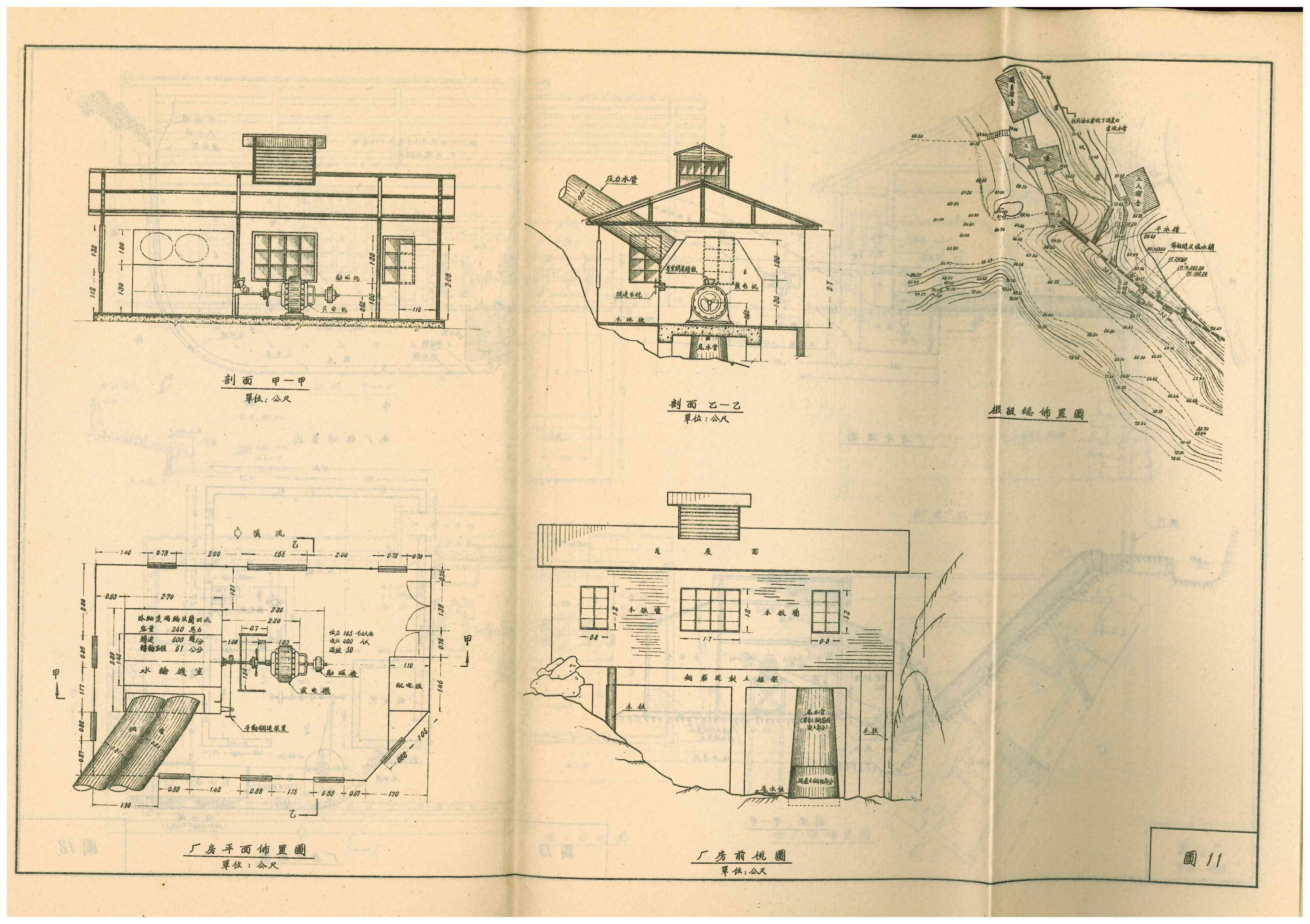
厂房平面及电厂机組佈置圖
电厂位置圖
剖面 甲—甲
剖面 乙—乙
剖面 丙—丙
圖 5


剖面 甲—甲
剖面 乙—乙
捷克式水輪机
容量 100 瓩
剖面 丁—丁
剖面 丙—丙
电氣結線圖
200 KVA
4000 伏
配电板背面圖
机房平面圖
电厂樞紐佈置圖
电厂位置及引水線路圖
配电板立面圖
剖面 戊—戊
圖 6

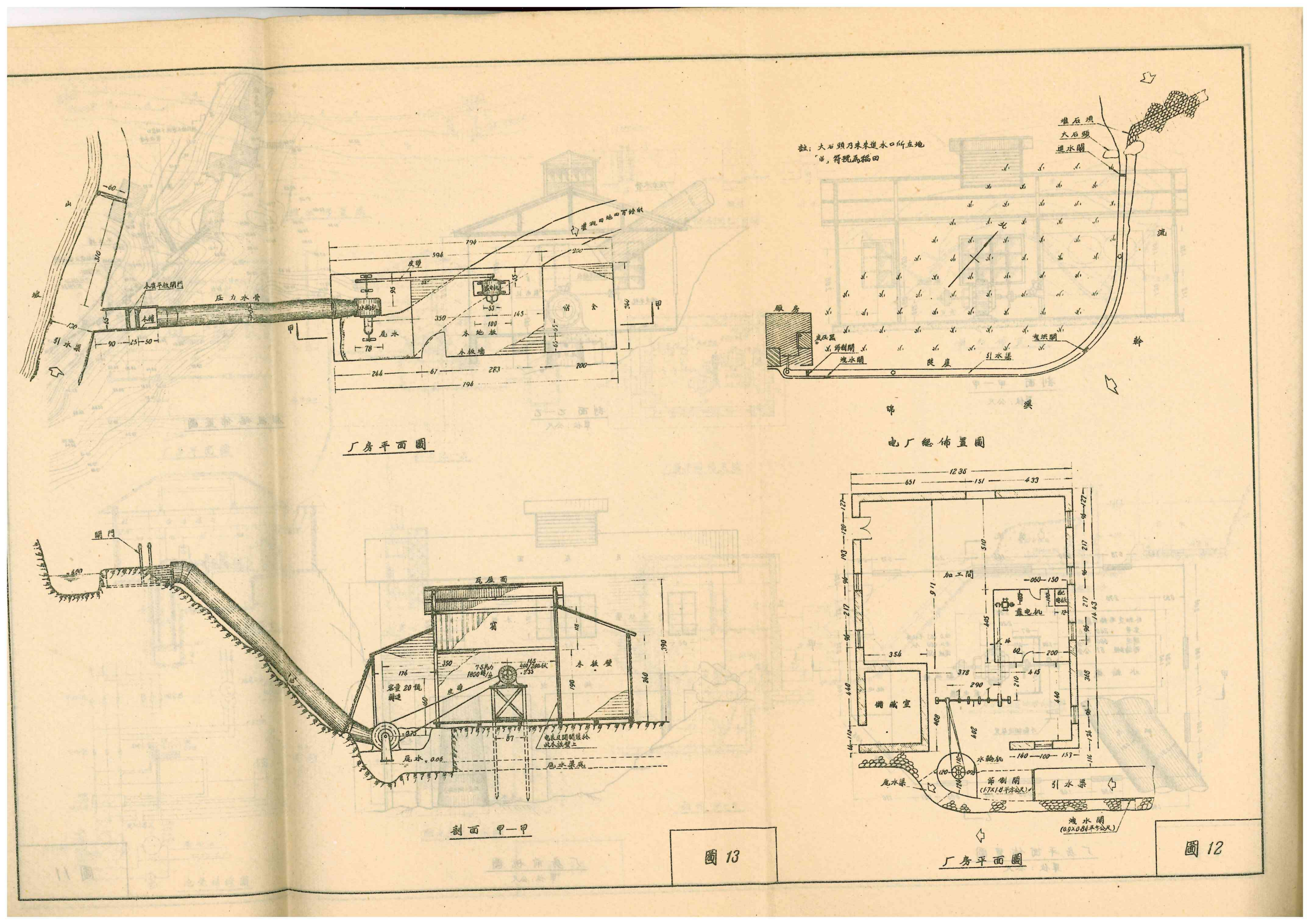


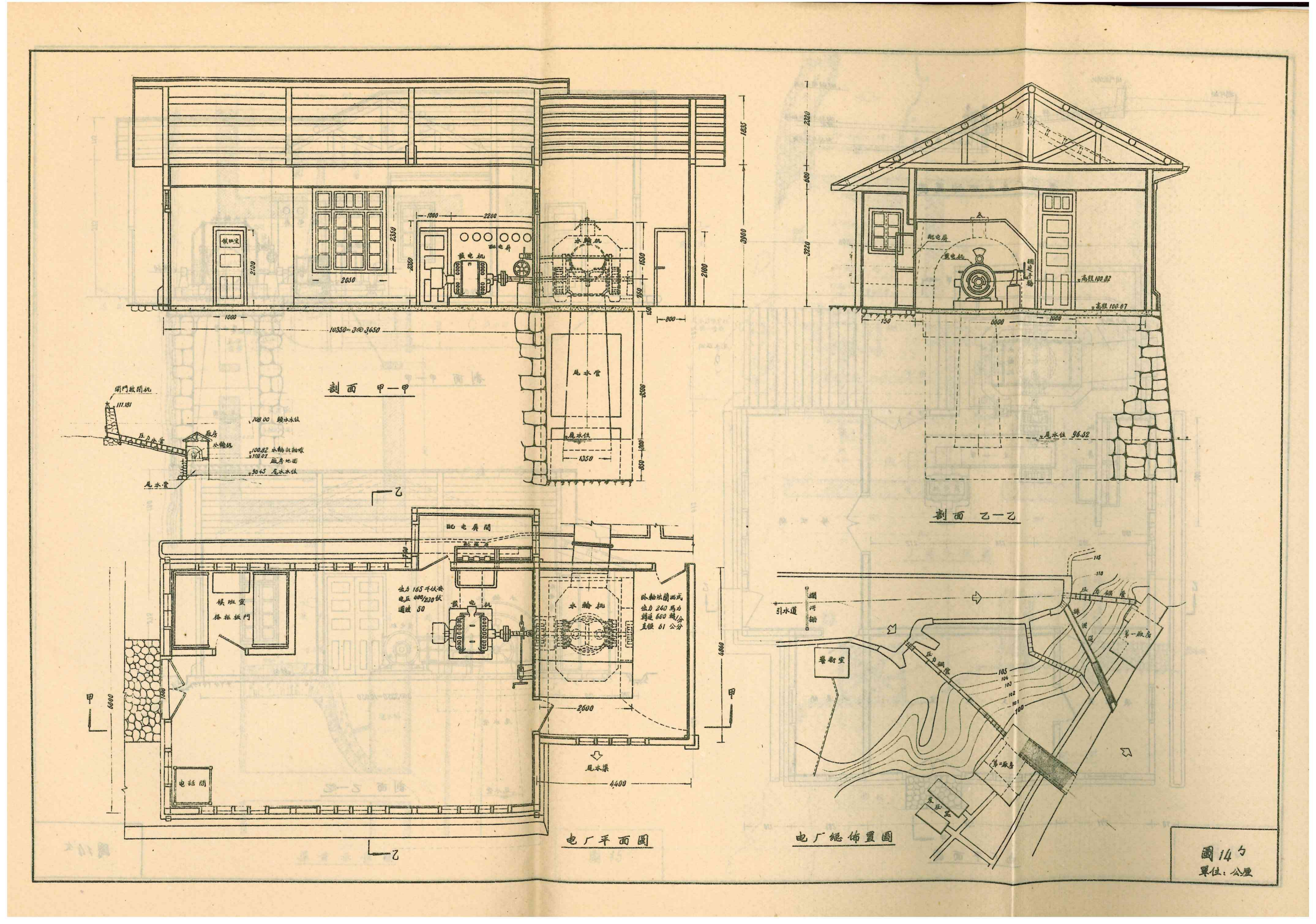
樞紐佈置圖
市 區
岩石峭岸
机房
倉房
修理間
臥室
河
流
厂房平面圖
引水渠
剖面 甲—甲
剖面 乙—乙
电氣結線圖
圖 7
电厂位置及輸电線圖
剖面 甲—甲
剖面 乙—乙
引水渠
厂房
尾水出水
樞紐佈置圖
剖面 丁—丁
电氣結線圖
剖面 丙—丙
圖 8

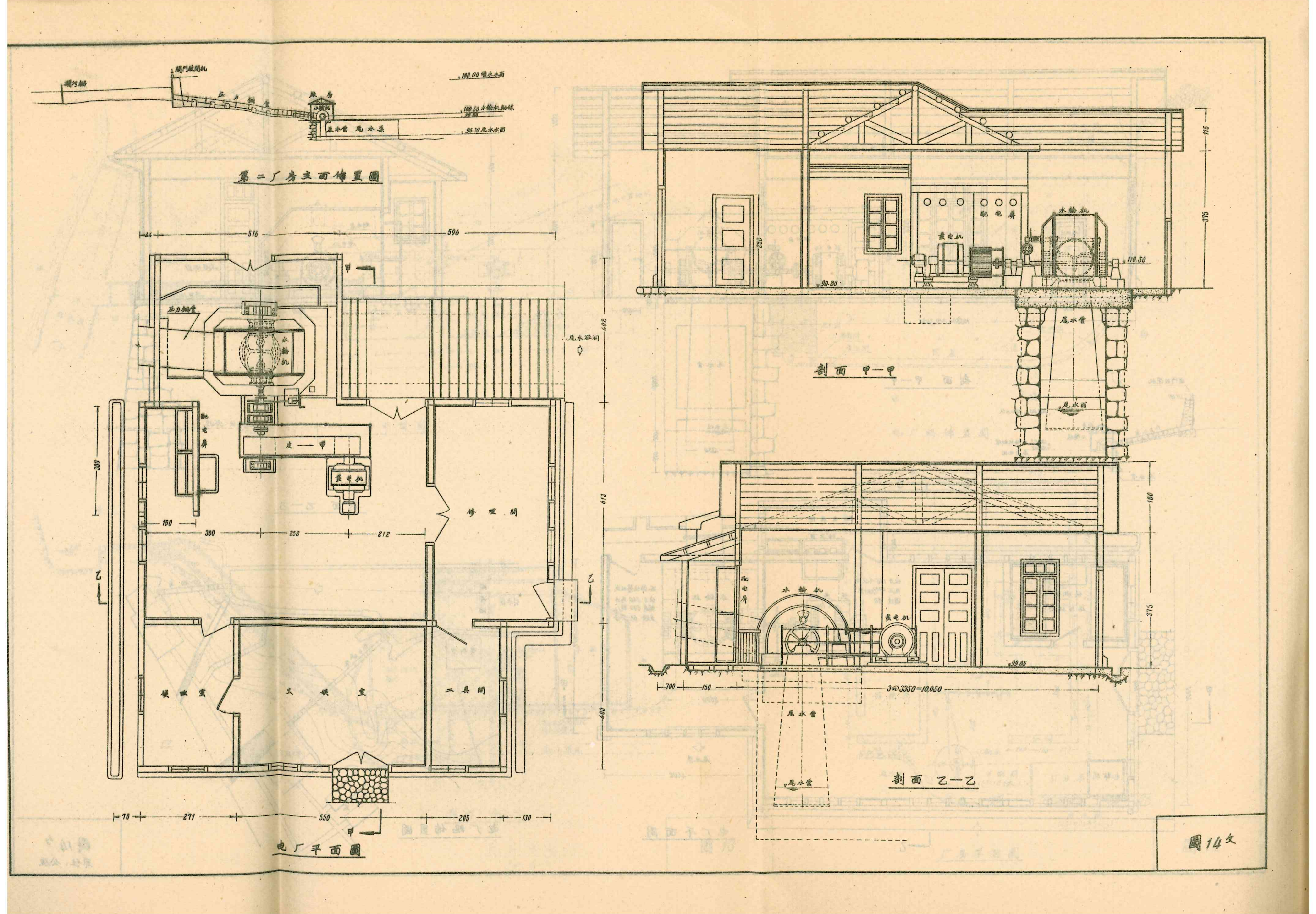

樞紐佈置圖
攔河壩平面側面及正面圖
正面
側面
平面
厂房平面圖
剖面乙—乙
厂房平面佈置圖
剖面甲—甲
剖面丙—丙
配电装置正面圖
电氣結線圖
壓力鋼管
尾水出口
吊車梁
厂用
熔断器
避雷器
發电机
勵磁机
河流
沙洲
引水渠道
工人宿舍
退水閘1
退水閘2
尾水渠
壓力水管
前池
樞紐佈置圖
壓力水管及前池縱剖面圖
圖 10
圖 9



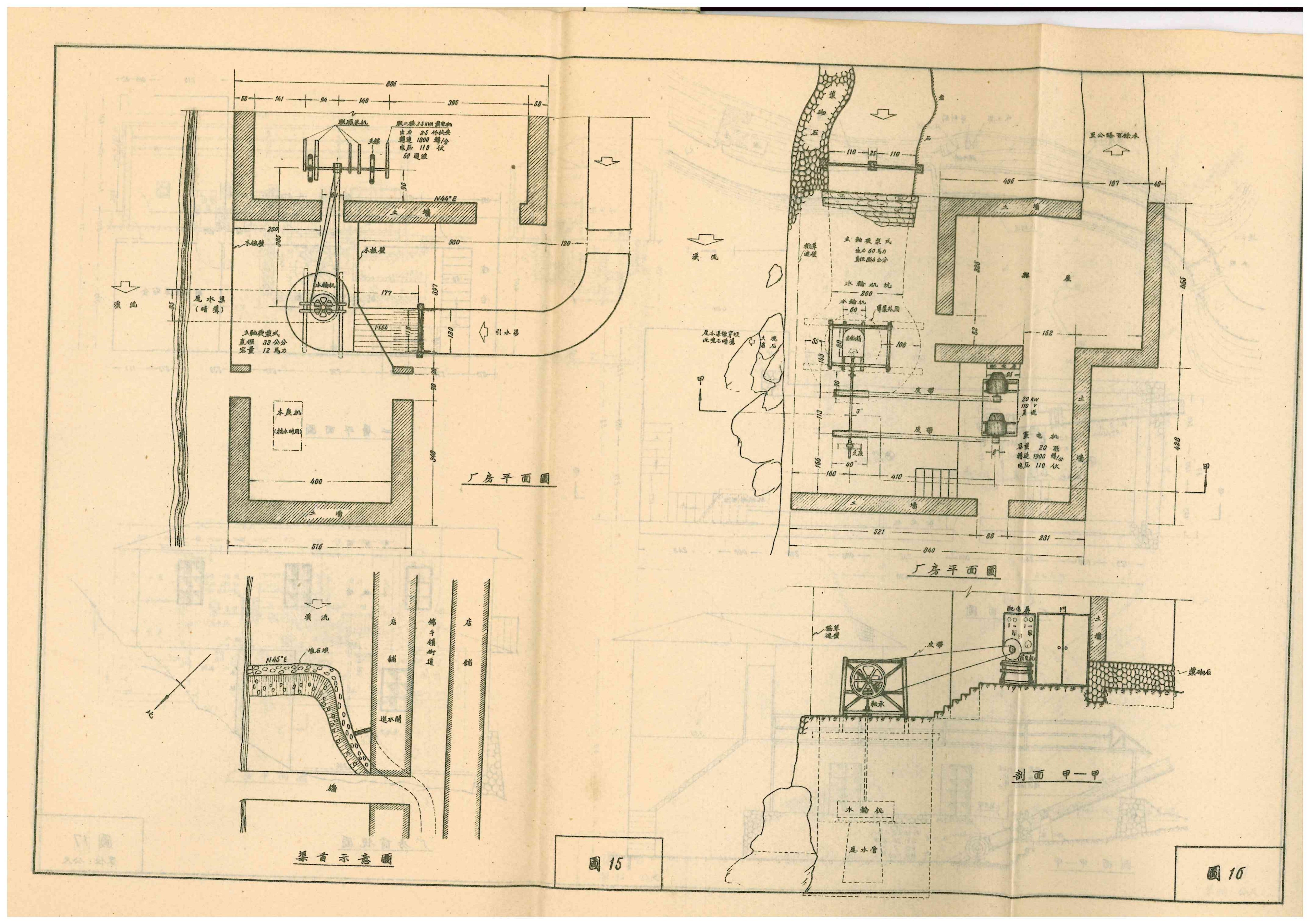
剖面 甲一甲
單位：公尺
励磁机
发电机
压力水管
尾水管
木地板
发电机
剖面 乙一乙
單位：公尺
樞紐總佈置圖
三人宿舍
平水槽
溪流
臥軸變渦輪法蘭西式
容量 240 馬力
轉速 600 轉/分
轉輪直徑 61 公分
出力 165 千伏安
电压 400 伏
週波 50
水輪機室
勵磁機
發电機
配电板
手動調速裝置
鋼管
厂房平面佈置圖
單位：公尺
瓦屋面
木板墻
木板墻
鋼筋混凝土框架
木柱
木柱
尾水管
尾水位
厂房前視圖
單位：公尺
圖11

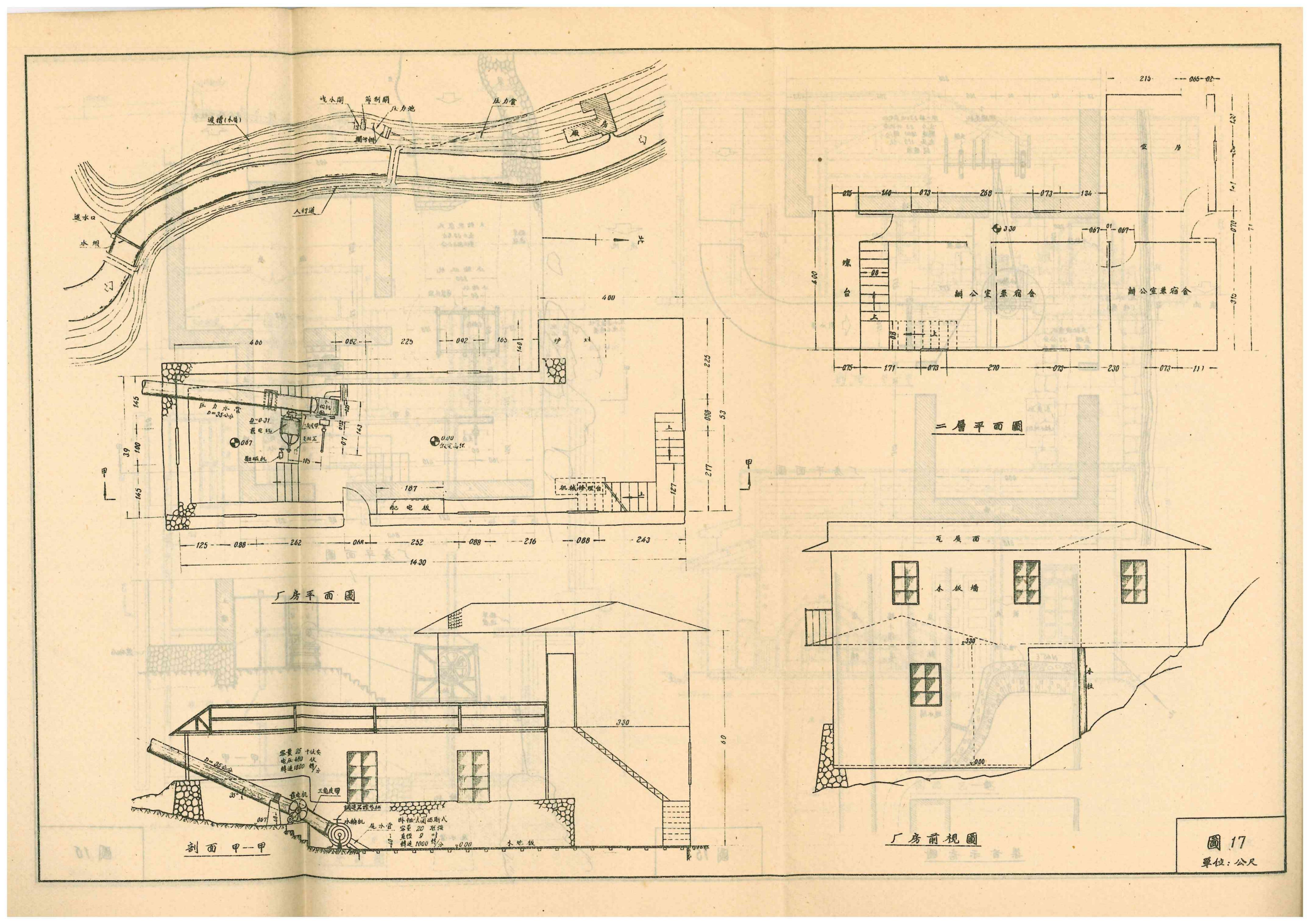

山
坡
引水渠
壓力水管
皮帶
尾水
木地板
木板墻
宿舍
甲
灌溉田地四百餘畝
厂房平面圖
閘門
瓦屋面
木板壁
尾水
尾水渠底
剖面 甲—甲
圖13
註：大石頭乃未來進水口所在地
"ψ"符號爲稻田
堆石坝
大石頭
進水閘
流
幹
溪
溢洪閘
引水渠
泄水閘
節制閘
厰房
电厂總佈置圖
加工間
發电机
備藏室
水輪机
尾水渠
節制閘
引水渠
泄水閘
厂房平面圖
圖12


剖面 甲—甲
剖面 乙—乙
电厂平面圖
电厂總佈置圖
圖14
單位：公厘
水輪机
發电机
配电屏
尾水管
尾水位
候班室
配电房間
电話間
尾水渠
引水道
壓力鋼管
警衛室
第一廠房
第二廠房
高程100.92
高程100.07
尾水位 96.52
10350-3@3450



第二厂房立面佈置圖
电厂平面圖
剖面 甲一甲
剖面 乙一乙
水輪机
發电机
配电房
尾水管
修理間
文娛室
工具間
圖14文


厂房平面圖
水輪机
主軸旋槳式
直徑 33公分
容量 12馬力
尾水渠
(暗溝)
溪流
引水渠
土墻
木板壁
本廠机
(抽水時用)
N44°E
出力 2.5 竹伏安
轉速 1800 轉/分
电压 110 伏
60 週波
渠首示意圖
溪流
堆石壩
N45°E
進水閘
店
舖
錦斗鎮街道
圖15
厂房平面圖
溪流
主軸旋槳式
出力 60 馬力
直徑 86.4 公分
水輪机坑
水輪机
導葉外周
皮帶
發电机
容量 20 瓩
轉速 1900 轉/分
电压 110 伏
20 KW
110 V
直流
土墻
甲
剖面 甲—甲
配电盤
門
皮帶
軸承
水輪机
尾水管
圖16



進水口
水坝
渡槽(木槽)
洩水閘
節制閘
壓力池
壓力管
廠房
人行道
厂房平面圖
压力水管
D=35公分
蓄电机
配电板
机械修理台
二層平面圖
辦公室兼宿舍
曬台
厂房前視圖
瓦屋面
木板墙
剖面甲—甲
容量 25 千伏安
电压 480 伏
轉速 1800 轉/分
三角皮帶
水輪机
尾水管
木地板
圖17
單位：公尺

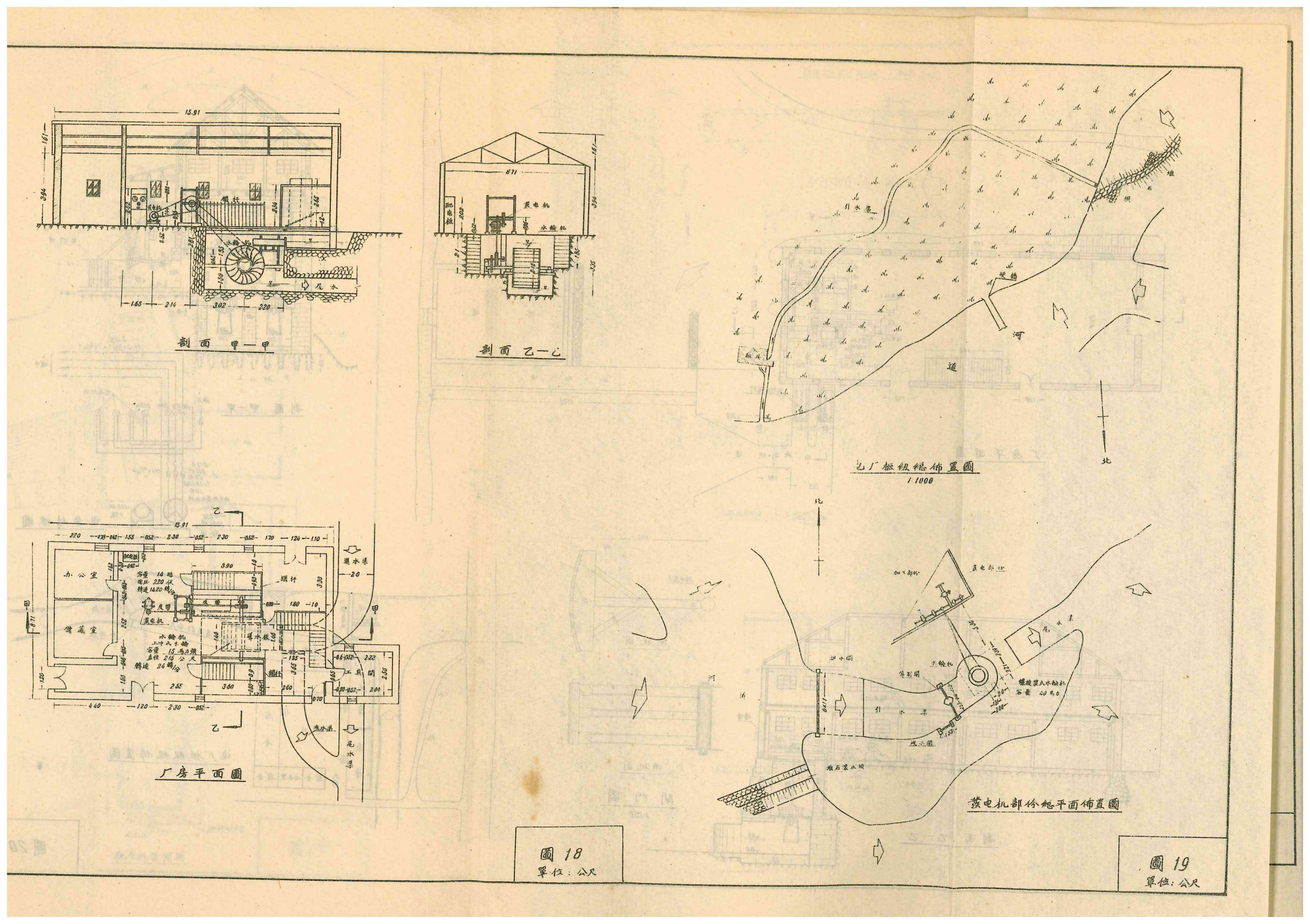
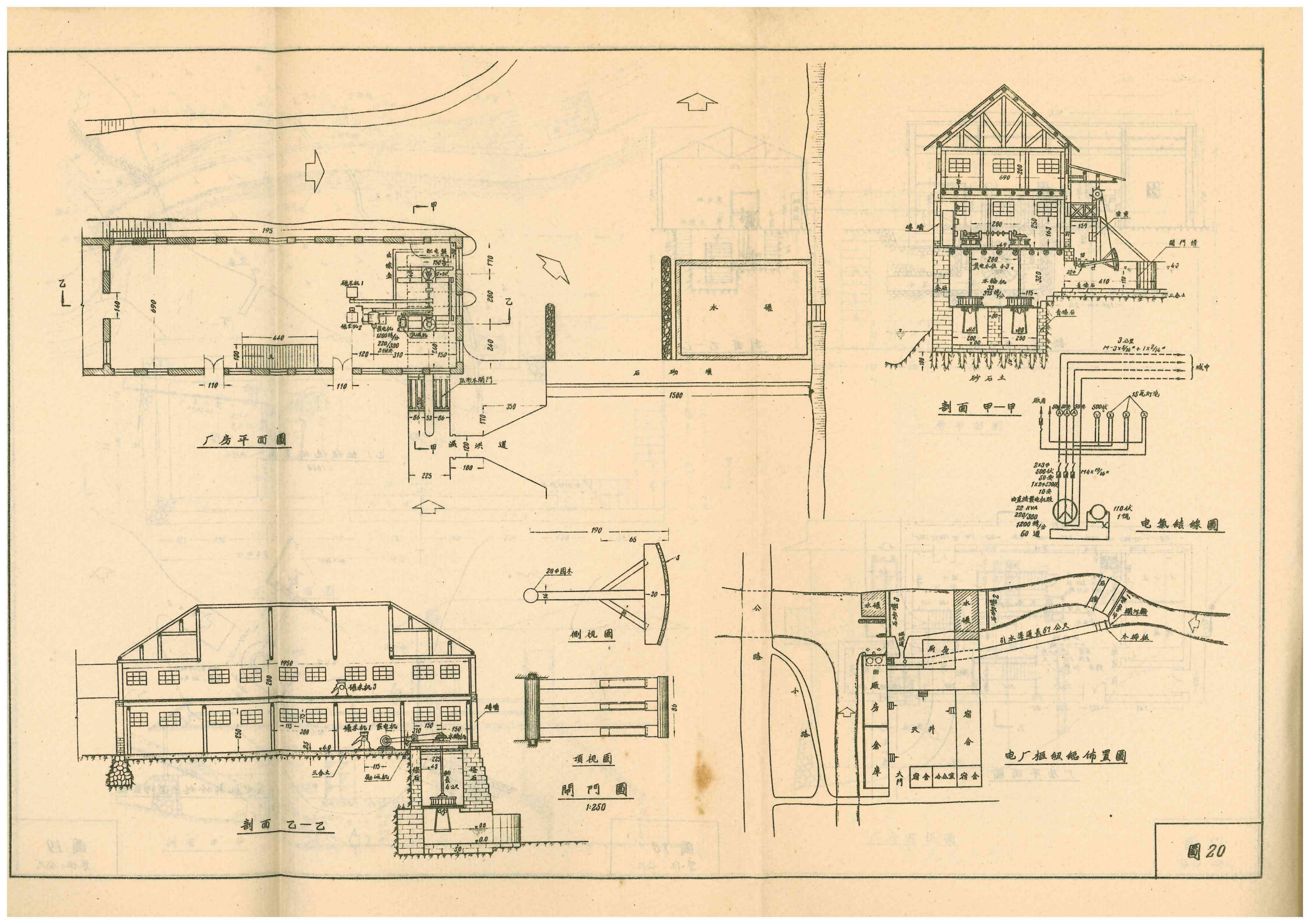
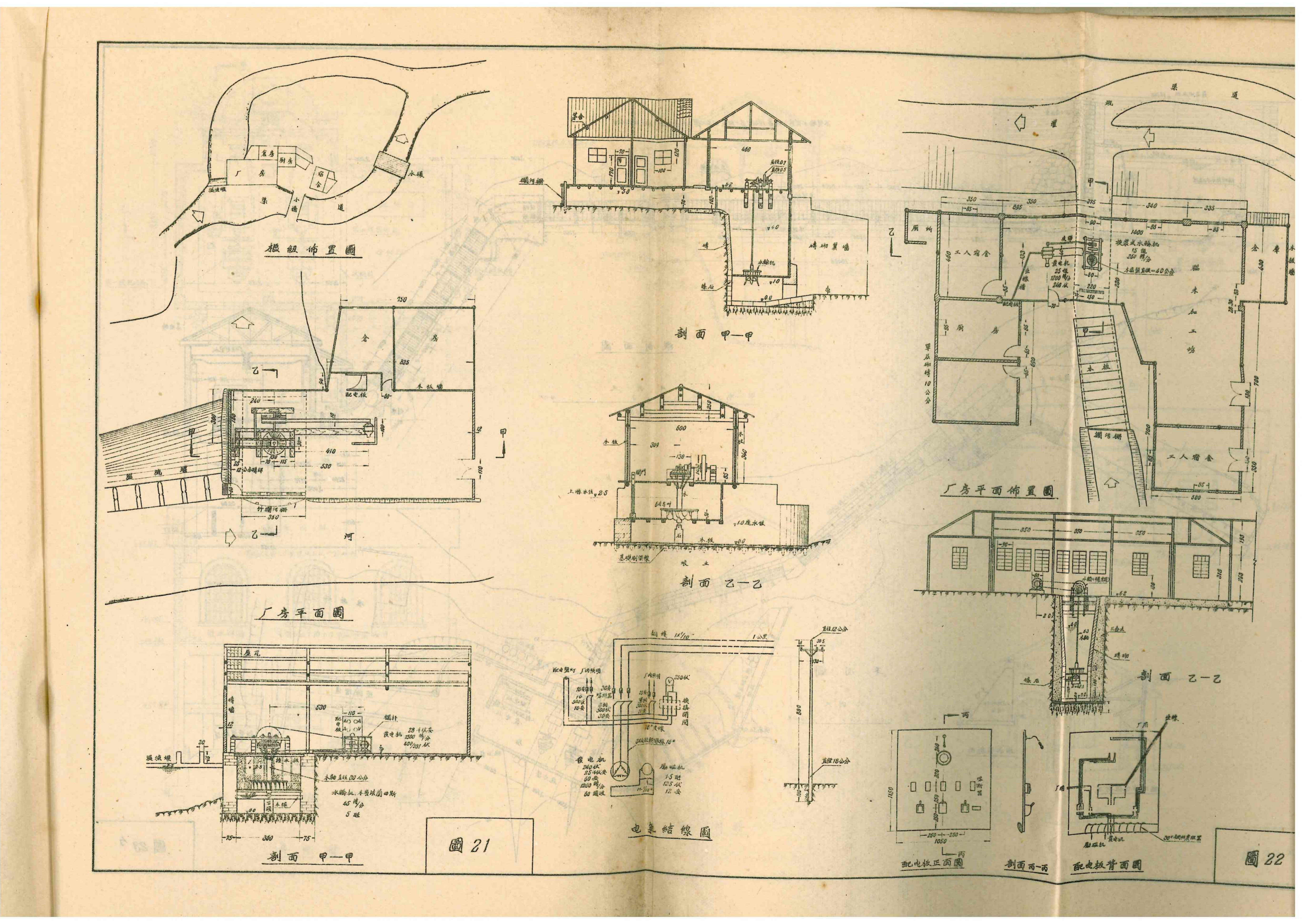


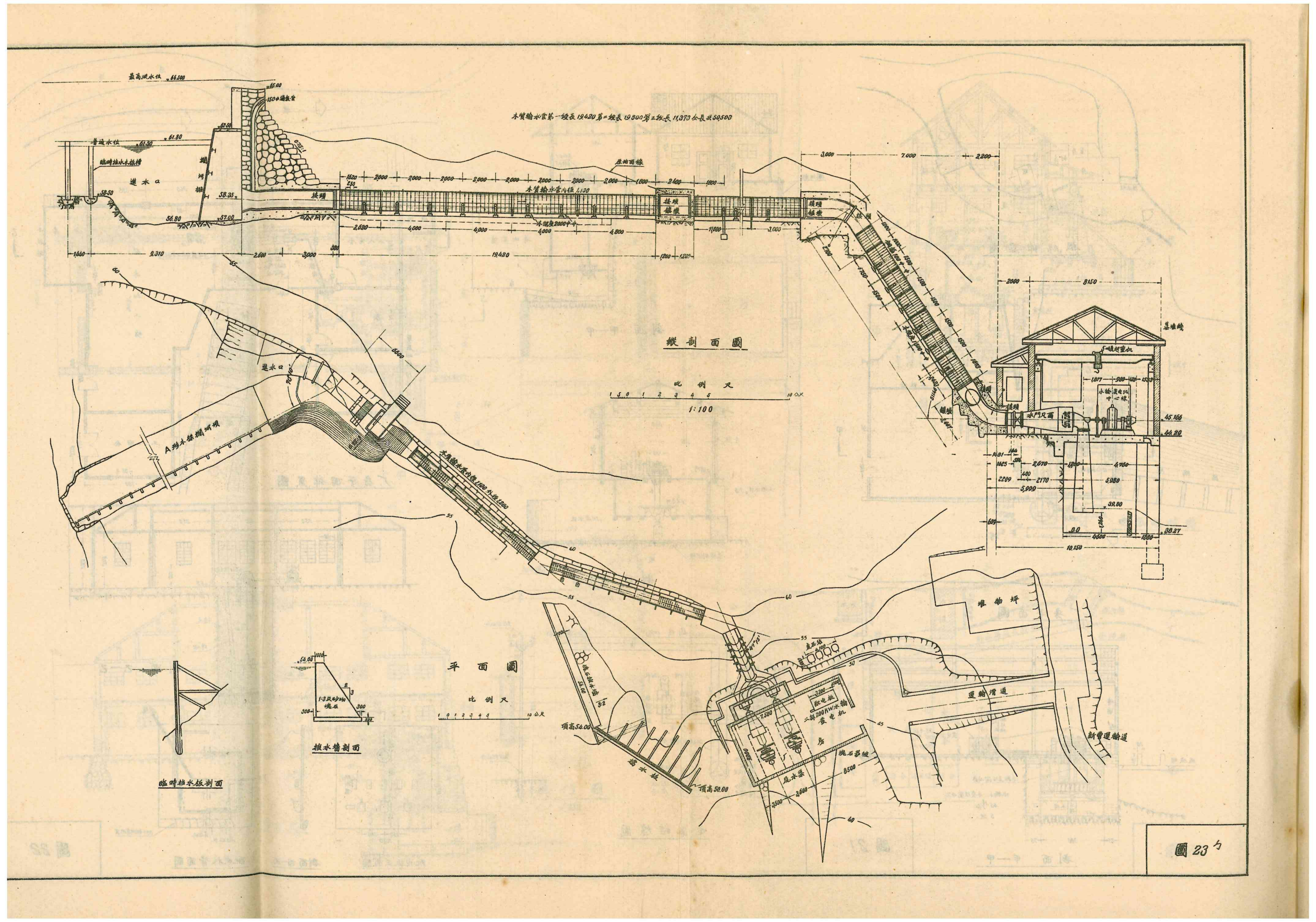
圖 18
單位：公尺
圖 19
單位：公尺

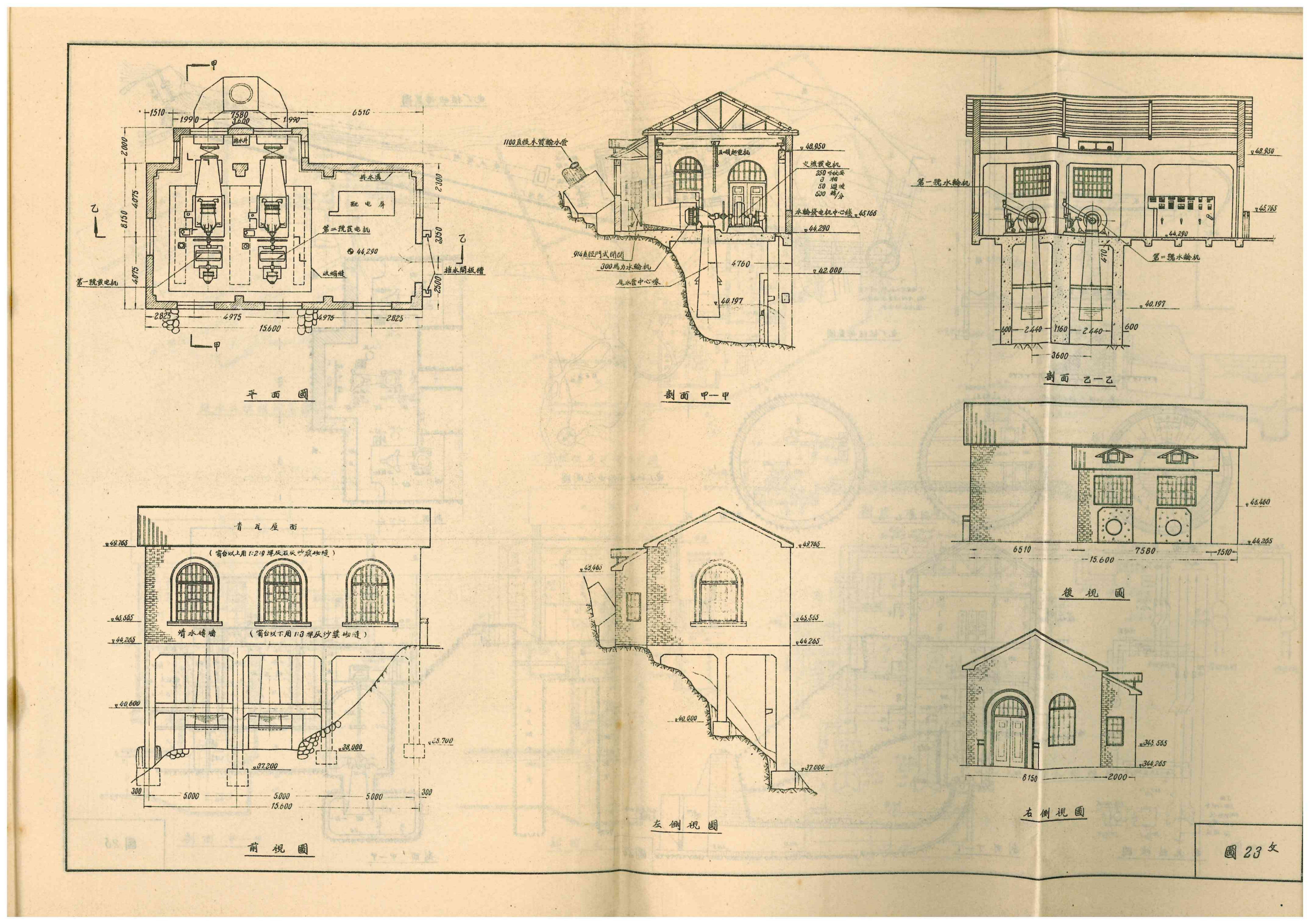


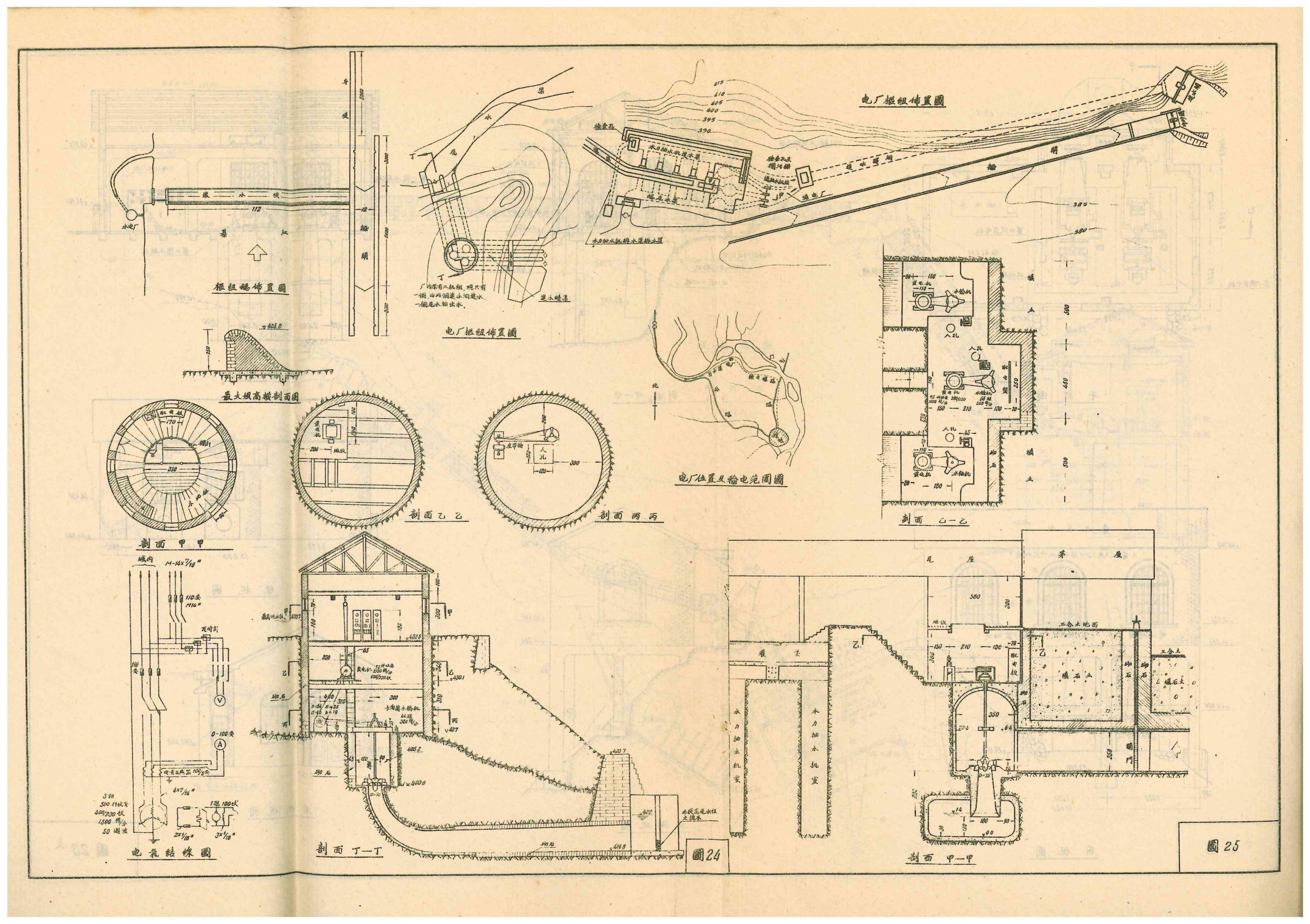
厂房平面圖
剖面 甲—甲
砂石土
电氣結線圖
城中
15瓦灯泡
22 KVA
220/380
60 週
110伏
側視圖
頂視圖
閘門圖
1:250
剖面 乙—乙
1950
三合土
水輪机
發电机
电厂樞紐總佈置圖
公路
小路
廠房
倉庫
天井
宿舍
大門
辦公室
引水渠道長67公尺
圖20



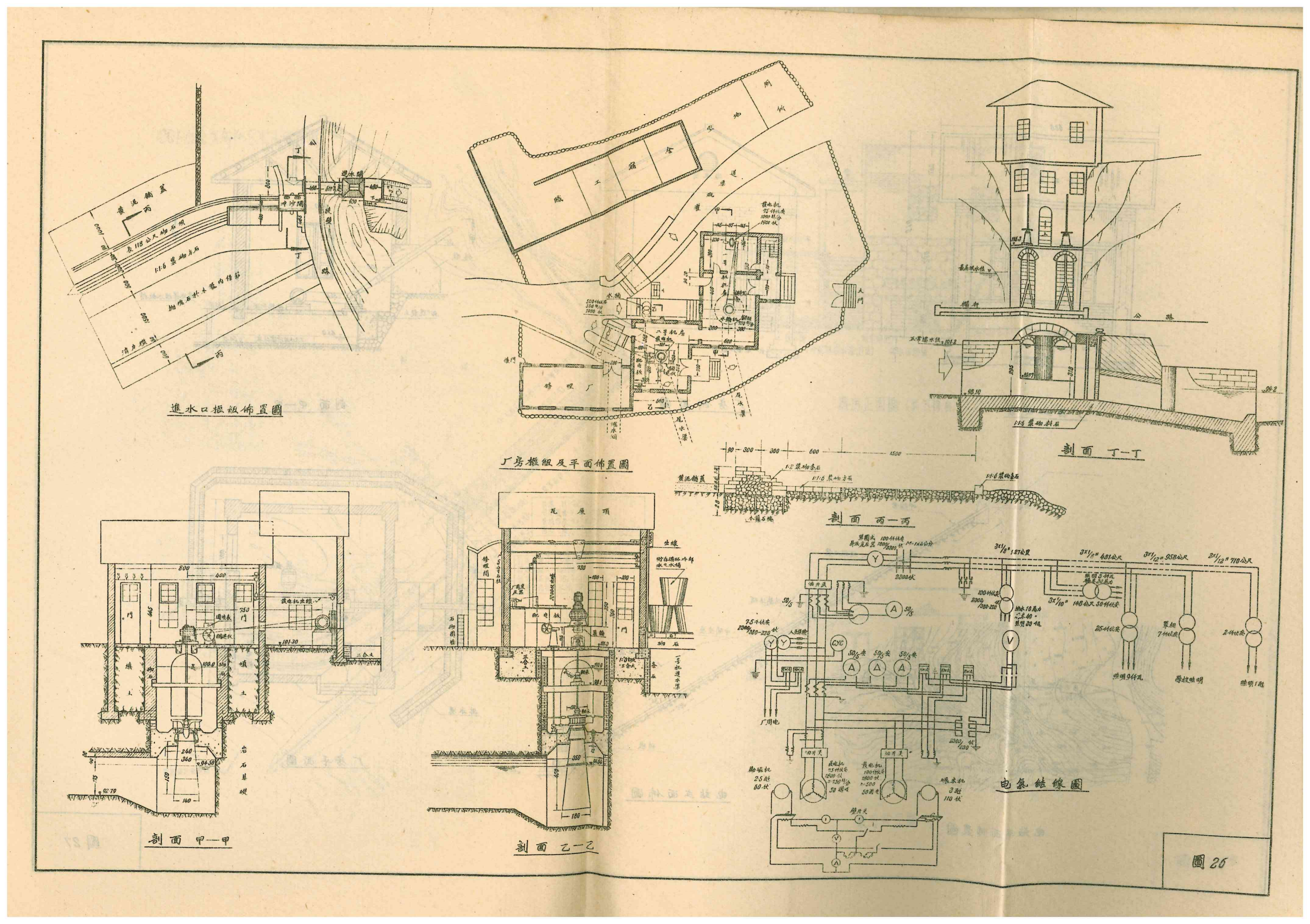
機組佈置圖
倉房
厨房
厂房
宿舍
渠道
小橋
水壩
溢流堰
倉
房
配电板
本板牆
河
竹欄污柵
厂房平面圖
剖面 甲—甲
攔污柵
水輪機
剖面 甲—甲
剖面 乙—乙
電氣結線圖
發电机
圖21
渠道
厕所
工人宿舍
倉庫
木加工場
厨房
攔污柵
工人宿舍
厂房平面佈置圖
剖面 乙—乙
配电板正面圖
剖面丙—丙
配电板背面圖
圖22

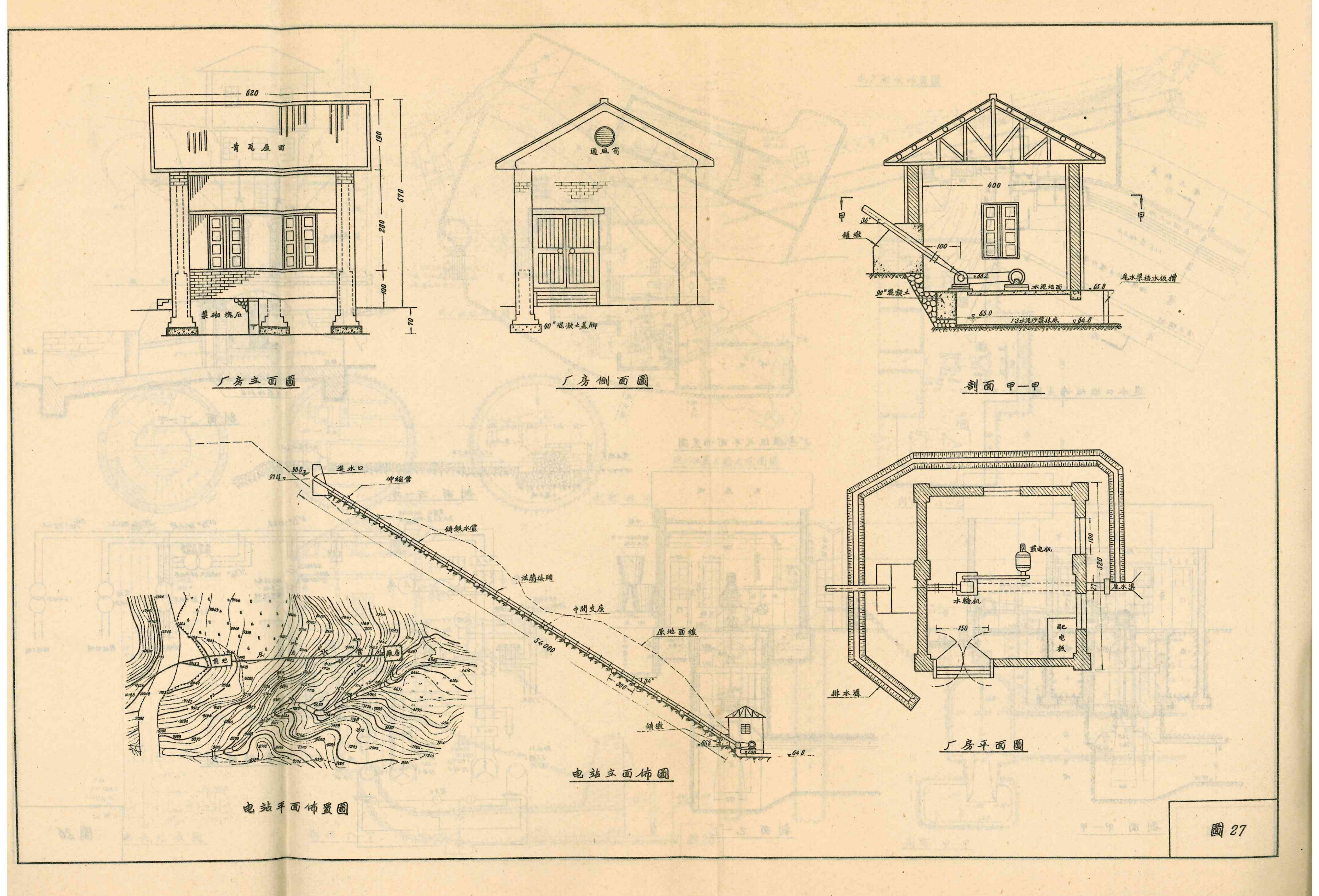

最高洪水位 66.300
本質輸水管第一段長19.420第二段長19.800第三段長11,373全長共50,503
原地面線
縱剖面圖
比例尺
1:100
進水口
平面圖
比例尺
二部200KW水輪發电机
配电板
房
尾水渠
塊石護坡
運輸滑道
堆物坪
頂高50.00
頂高54.00
臨時擋水板剖面
擋水牆剖面
圖23

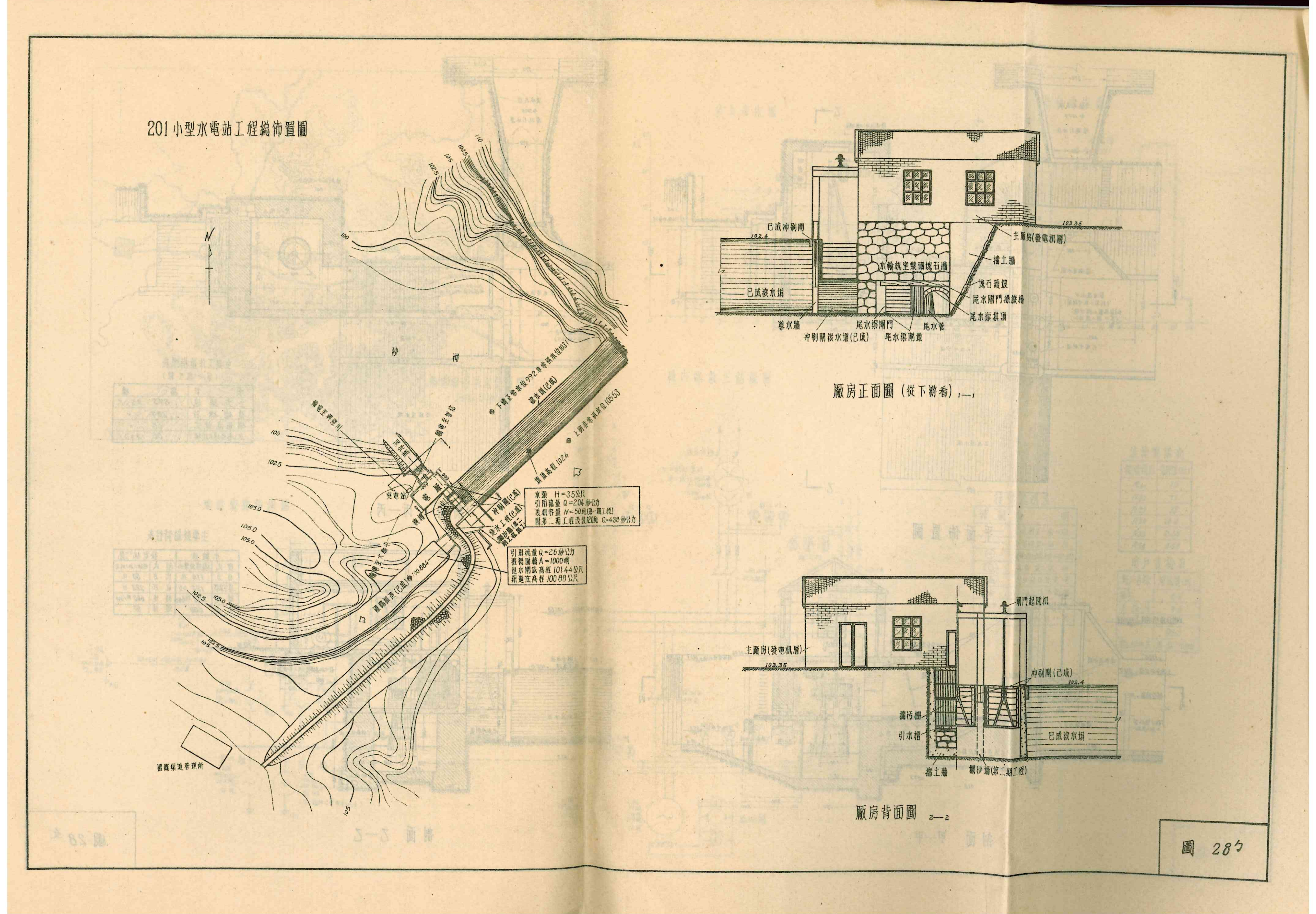

1100直徑木質輸水管
五噸起重机
交流發电机
250 千伏安
3 相
50 週波
600 轉/分
水輪發电机中心綫
914直徑門式閘閥
300馬力水輪机
尾水管中心線
第一號水輪机
第二號水輪机
第一號發电机
第二號發电机
排水溝
配电屏
收縮縫
推水閘板槽
青瓦屋面
（窗台以上用1:2:9 彈灰石灰砂漿砌磚）
清水磚牆
（窗台以下用1:3 彈灰沙漿砌磚）
平面圖
剖面甲一甲
剖面乙一乙
後視圖
前視圖
左側視圖
右側視圖
圖23文

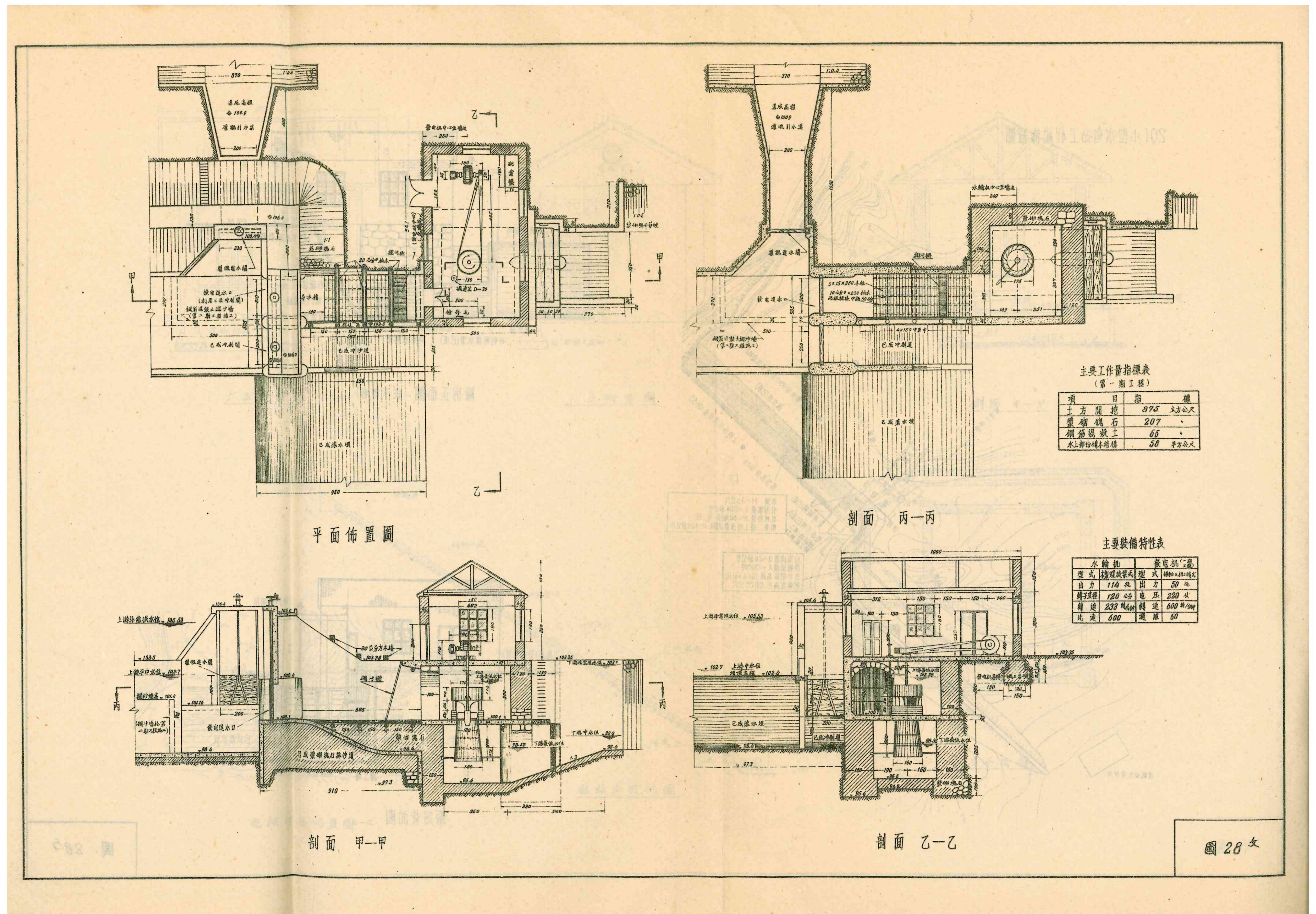


根組總佈置圖
水电厂
綦江
最大壩高橫剖面圖
电厂根組佈置圖
退水暗渠
电厂位置及輸电范圍圖
北
剖面甲甲
剖面乙乙
剖面丙丙
人孔
剖面乙—乙
發电机
水輪机
填土
砌石
电氣結線圖
剖面丁—丁
卡伯蘭水輪机
為提高尾水位之攔水
圖24
瓦屋
茅屋
水力抽水机室
三合土地面
閘門
剖面甲—甲
圖25


進水口樞紐佈置圖
厂房樞紐及平面佈置圖
剖面 丁—丁
剖面 丙—丙
剖面 甲—甲
剖面 乙—乙
电氣結線圖
圖 26


620
青瓦屋面
190
570
280
100
70
漿砌塊石
厂房立面圖
通風筒
90#混凝土基脚
厂房側面圖
400
甲
甲
34°
鎮墩
100
66.2
尾水渠檢水板槽
65.8
水泥地面
90#混凝土
65.0
1:3水泥沙漿抹底
64.8
剖面 甲—甲
進水口
伸縮管
鋼鉄水管
法蘭接頭
中間支座
原地面線
54000
300
34°
鎮墩
66.3
64.8
电站立面佈圖
前池
厂房
电站平面佈置圖
發电机
水輪机
尾水渠
配电板
150
100
320
排水溝
厂房平面圖
圖 27


201小型水電站工程總佈置圖
N
沙
河
下游正常水位99.2 非常洪水位103.1
滾水壩(已成)
上游非常洪水位105.53
壩頂高程102.4
尾水渠
變電站
電廠
冲刷閘(已成)
進水工程(已成)
攔沙牆(第二期工程施工)
灌溉渠道(已成)
100.884
水頭 H=3.5公尺
引用流量 Q=2.04 秒公方
裝机容量 N=50瓩(第一期工程)
附第二期工程改裝120瓩 Q=4.38秒公方
引用流量Q=2.6秒公方
灌溉面積 A=1000畝
進水閘底高程 101.44公尺
渠道底高程 100.88公尺
灌溉渠道管理所
100
102.5
105
105.0
110
已成冲刷閘
102.4
103.35
主廠房(發電机層)
擋土牆
水輪机室漿砌塊石牆
塊石護坡
尾水閘門操縱橋
尾水渠拱頂
已成滾水壩
導水牆
尾水渠閘門
尾水管
冲刷閘滾水堰(已成)
尾水渠閘墩
廠房正面圖 (從下游看) 1—1
閘門起閉机
冲刷閘(已成)
攔污柵
引水槽
擋土牆
攔沙牆(第二期工程)
廠房背面圖 2—2
圖



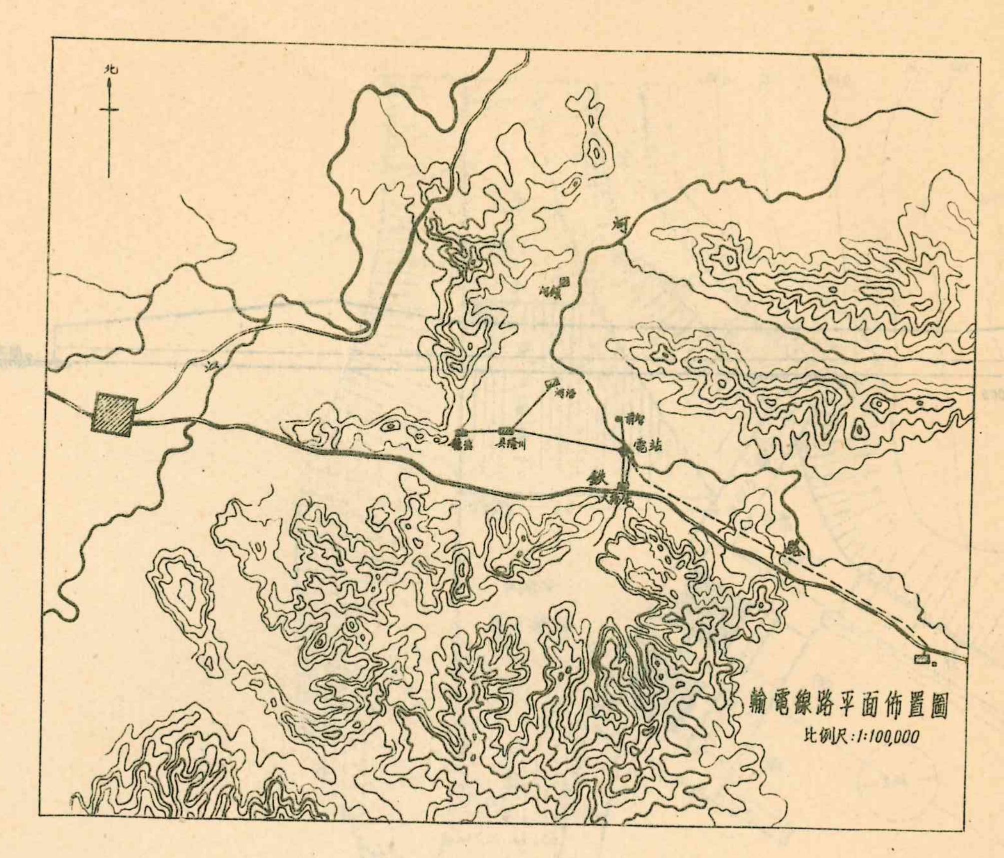
主要工作量指標表

（第一期工程）

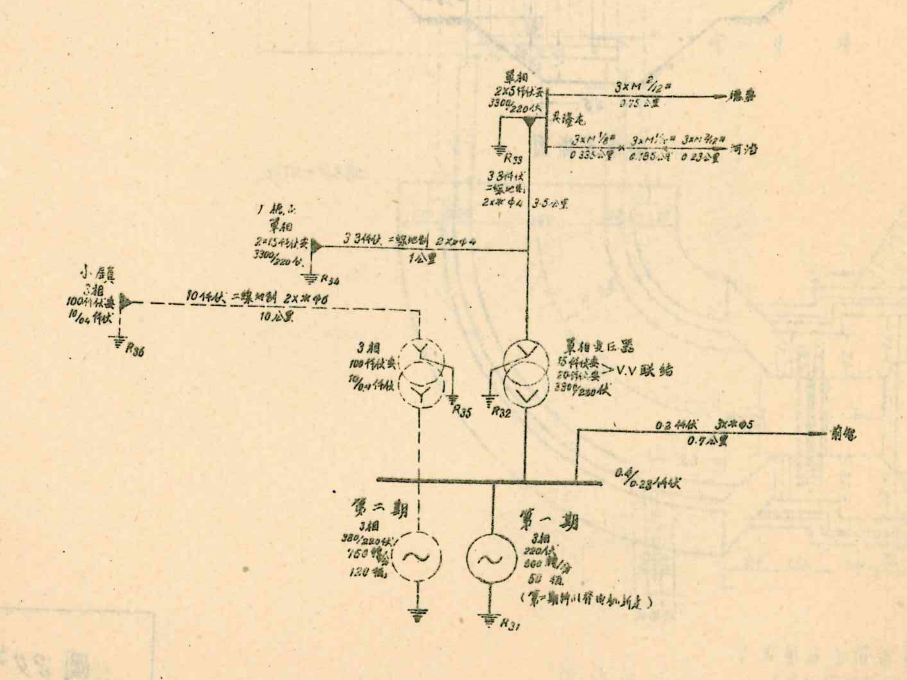
項目	指標
土方開挖	875 立方公尺
漿砌塊石	207 〃
鋼筋混凝土	66 〃
水上部份磚木結構	58 平方公尺

主要裝備特性表

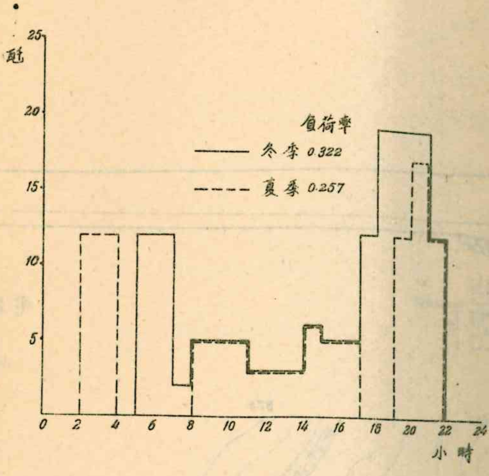
水輪机		發电机（二臺）	
型式	木製螺旋槳式	型式	横軸三相三線式
出力	114 瓩	出力	50 瓩
轉子直徑	120 公分	电压	220 伏
轉速	233 轉/分鐘	轉速	600 轉/分鐘
比速	600	週波	50

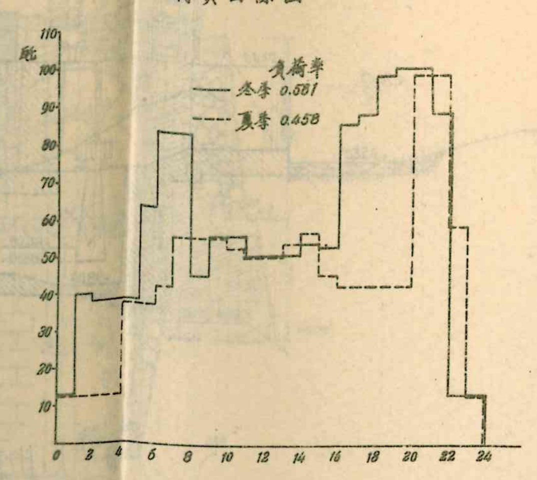


輸電線路結線圖

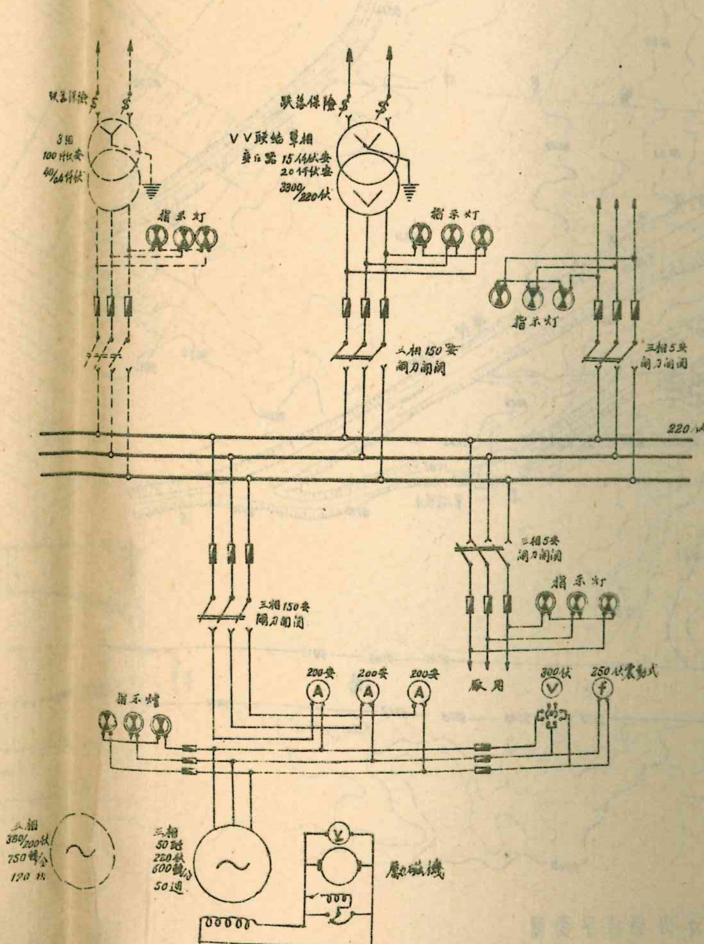








廠內電氣主結線圖



符號說明表

符號	說明
———	送電線第一期工程
- - - -	送電線第二期工程
(~)	發電機(虛線為第二期工程)
◎	升壓變電所
▲	用戶降壓變電所
⏚	接地及接地電阻
2×※Φ4	直徑4公厘的二根鉄導線
3×M2/12″	鋼導線三根二股十二號

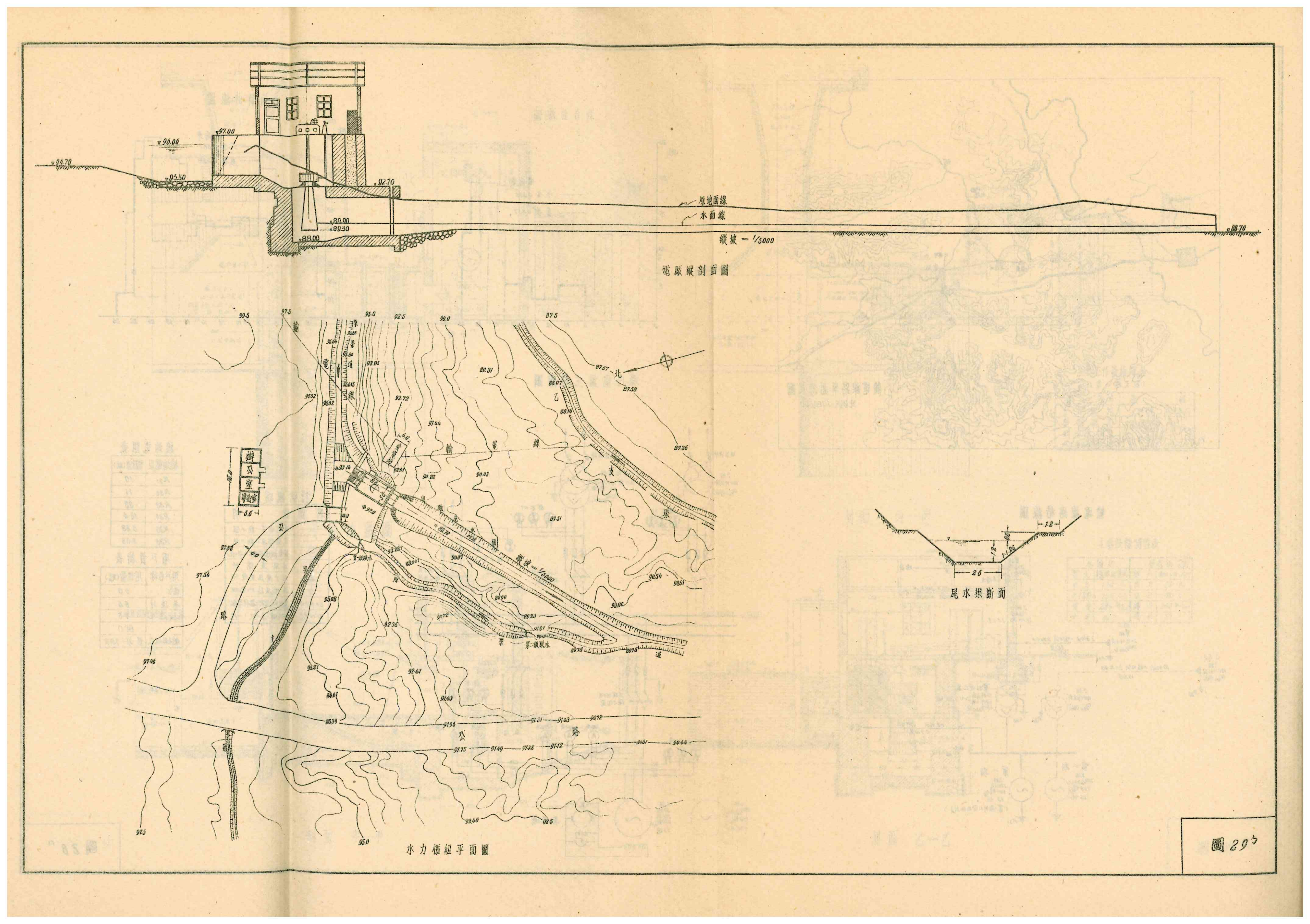
接地電阻表

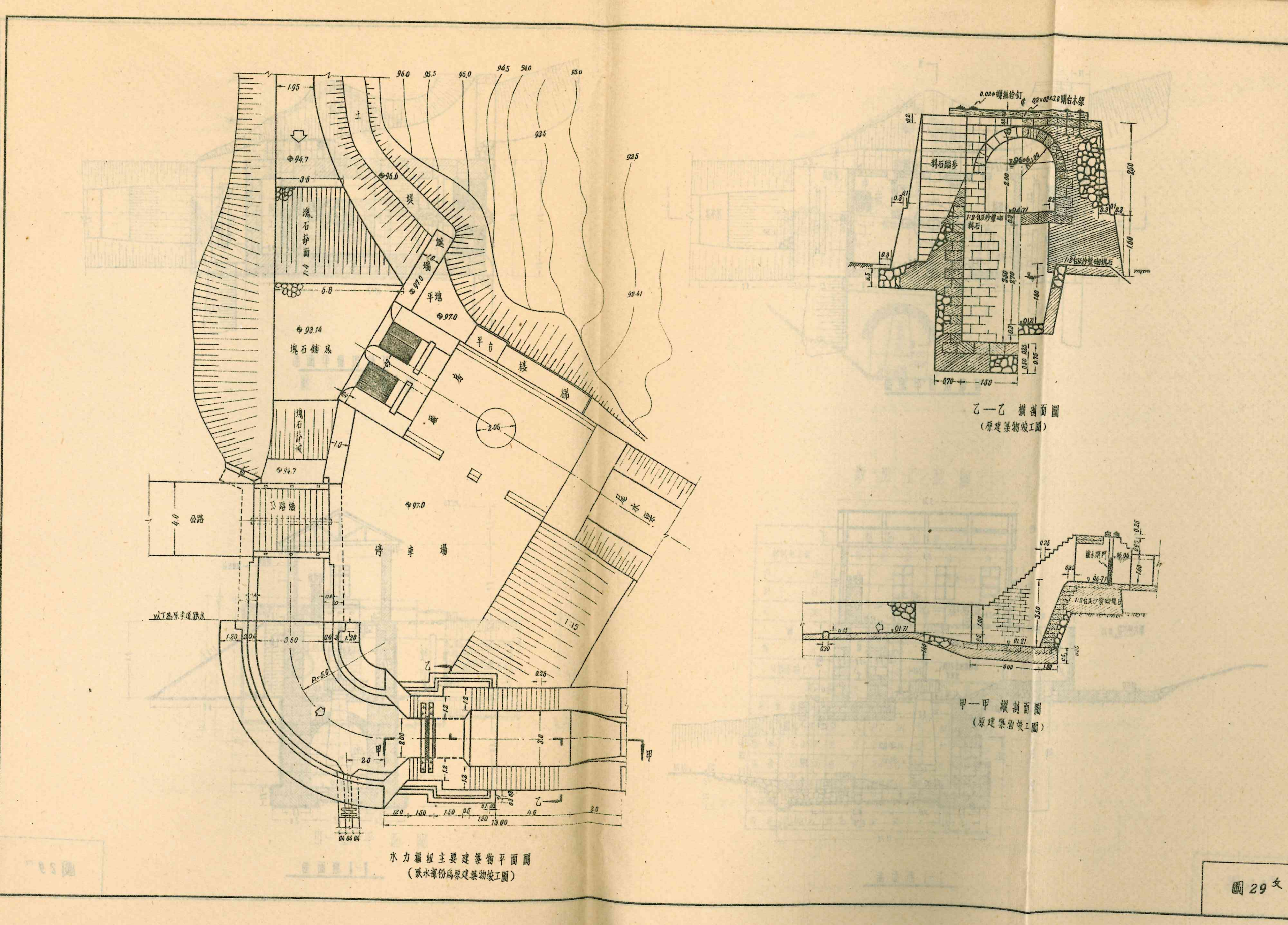
接地電阻	電阻值(歐)
R_{31}	10
R_{32}	11
R_{33}	33
R_{34}	16.4
R_{35}	8.68
R_{36}	8.68

用戶負荷表

用戶名称	用電量(瓩)
鎮治	0.9
吳陵村	8.4
大橋屯	7.5
	82.0
輸電線路長	第一期 8.7公里

圖28ㄇ


原地面線
水面線
縱坡＝1/5000
電廠縱剖面圖
北
辦公室
尾水渠斷面
水力樞紐平面圖
公路
圖29

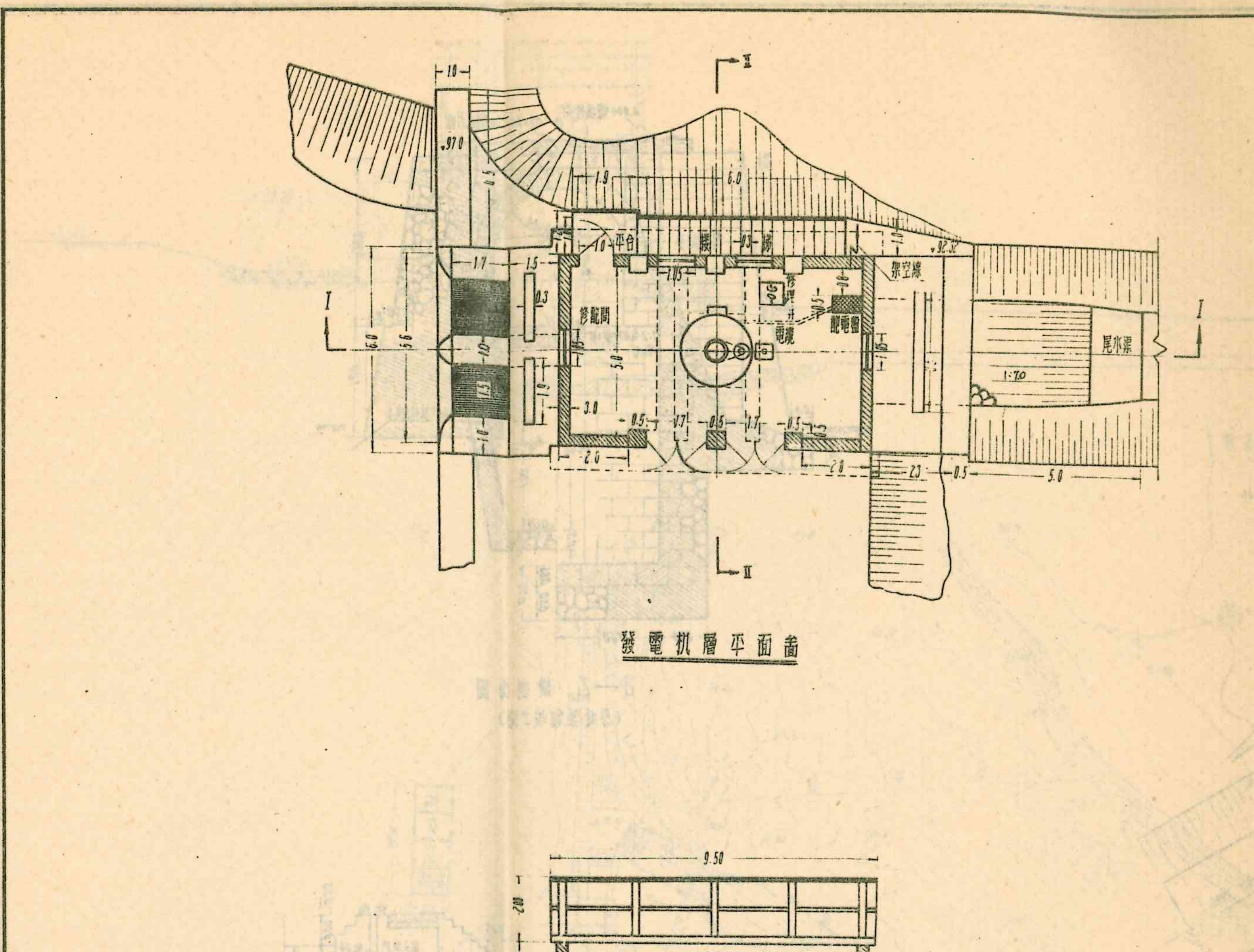


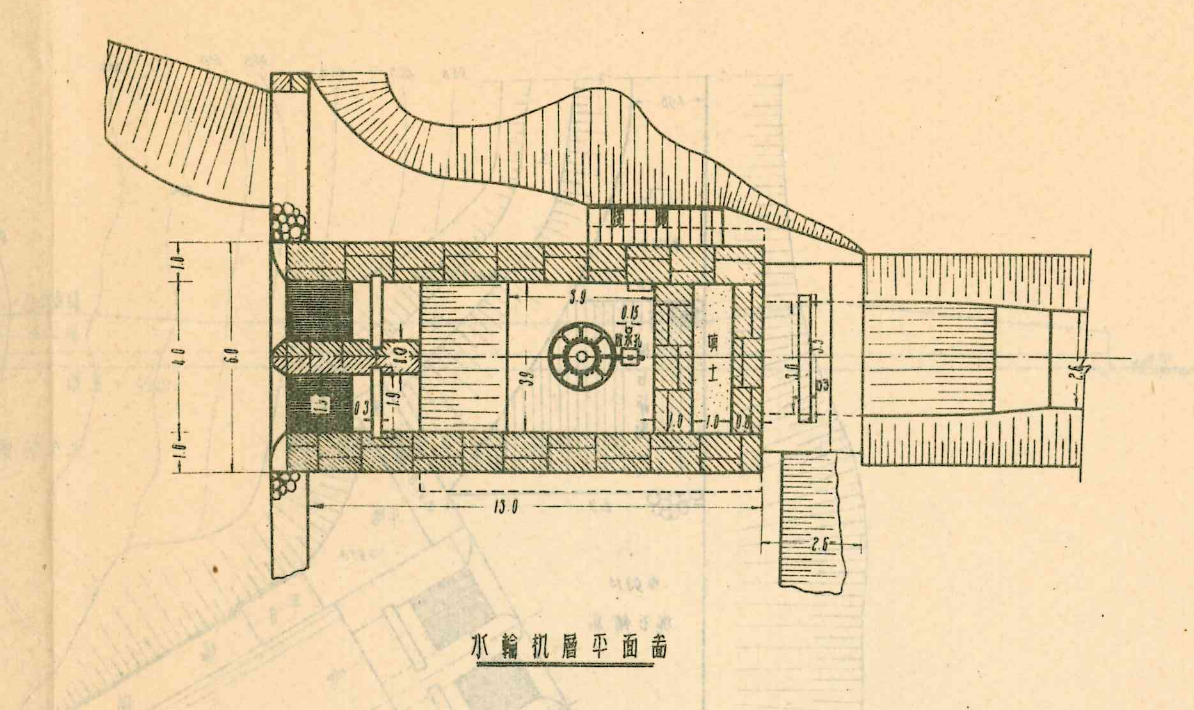
水力樞紐主要建築物平面圖
（跌水部份爲原建築物竣工圖）

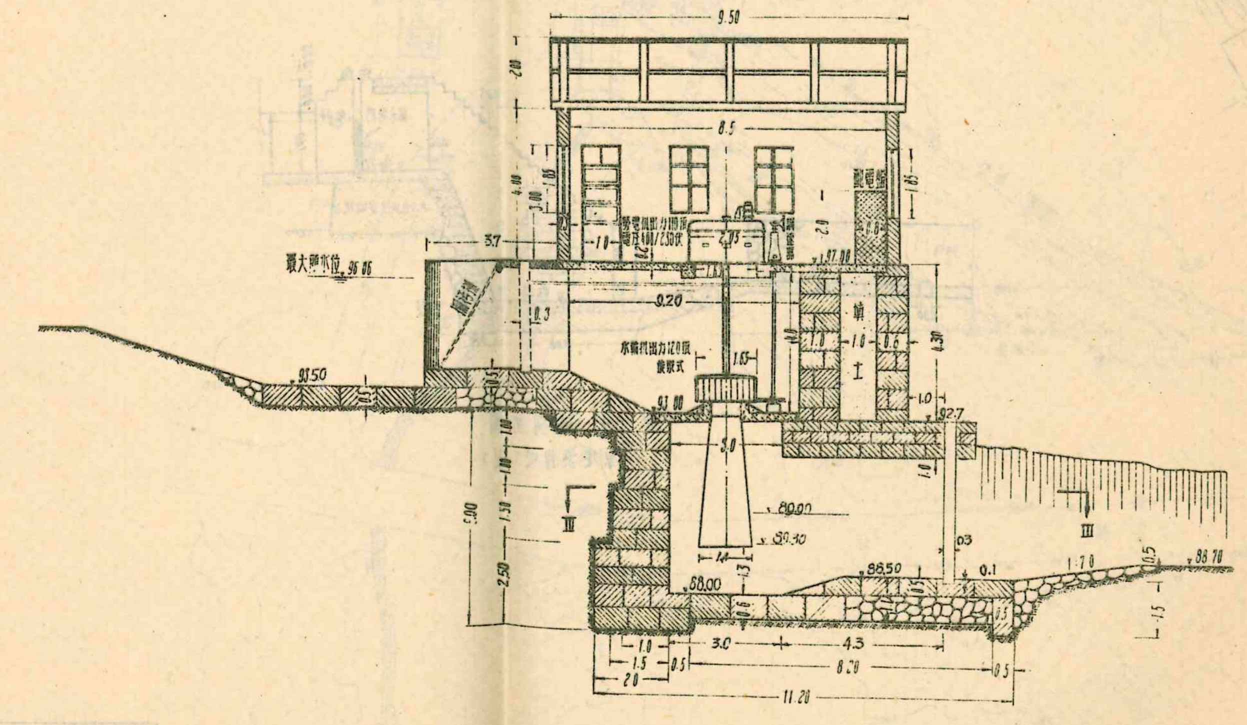
乙—乙 橫剖面圖
（原建築物竣工圖）

甲—甲 縱剖面圖
（原建築物竣工圖）

圖29 文


發電机層平面圖


水輪机層平面圖


I-I 断面圖

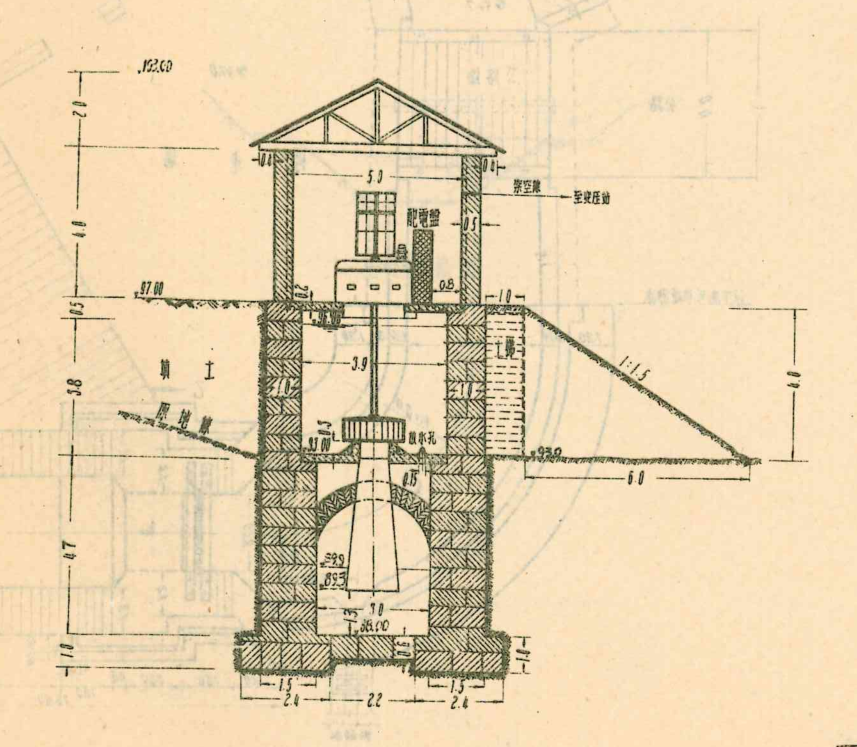
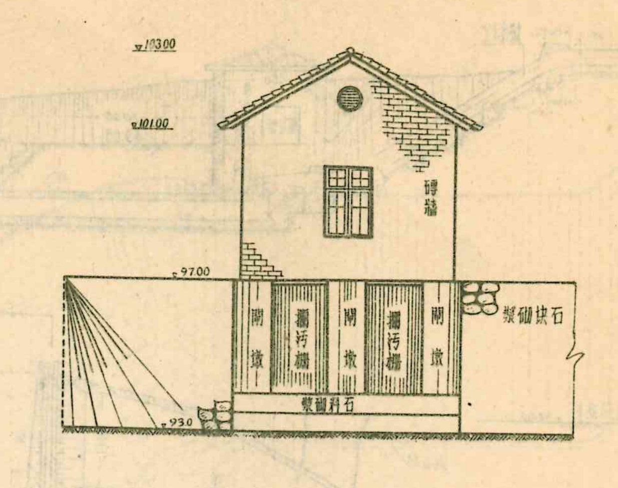
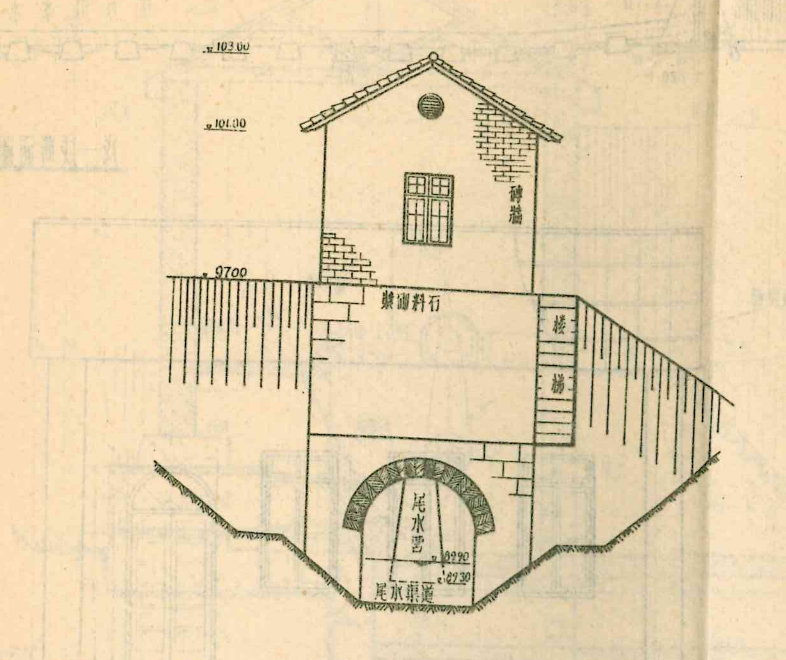

II-II 断面圖

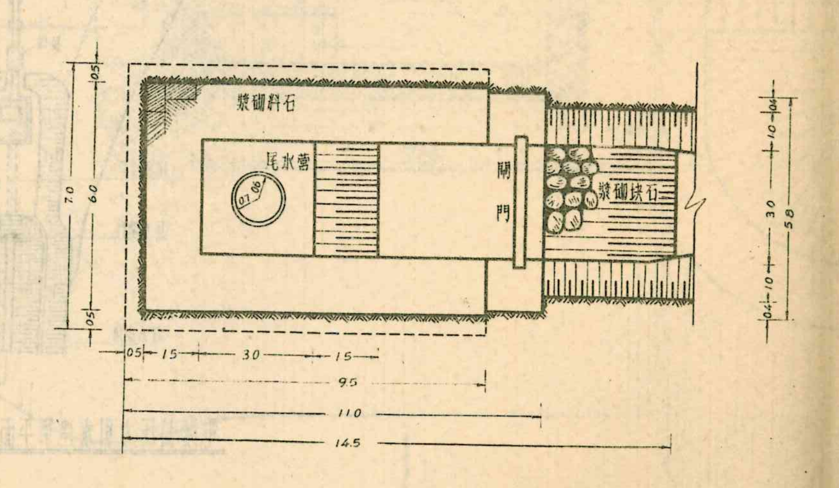
圖29



廠房背面圖



廠房正面圖

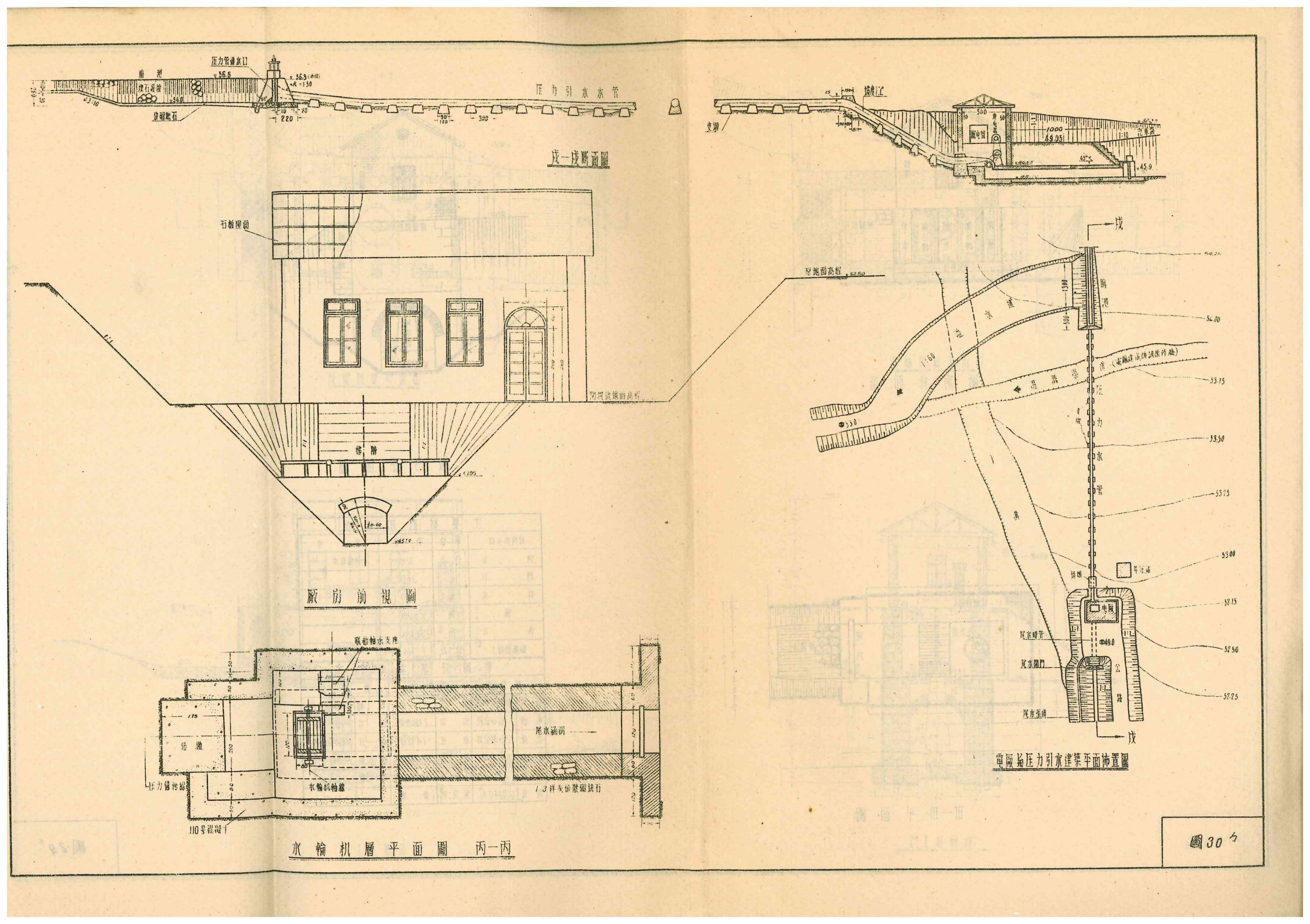


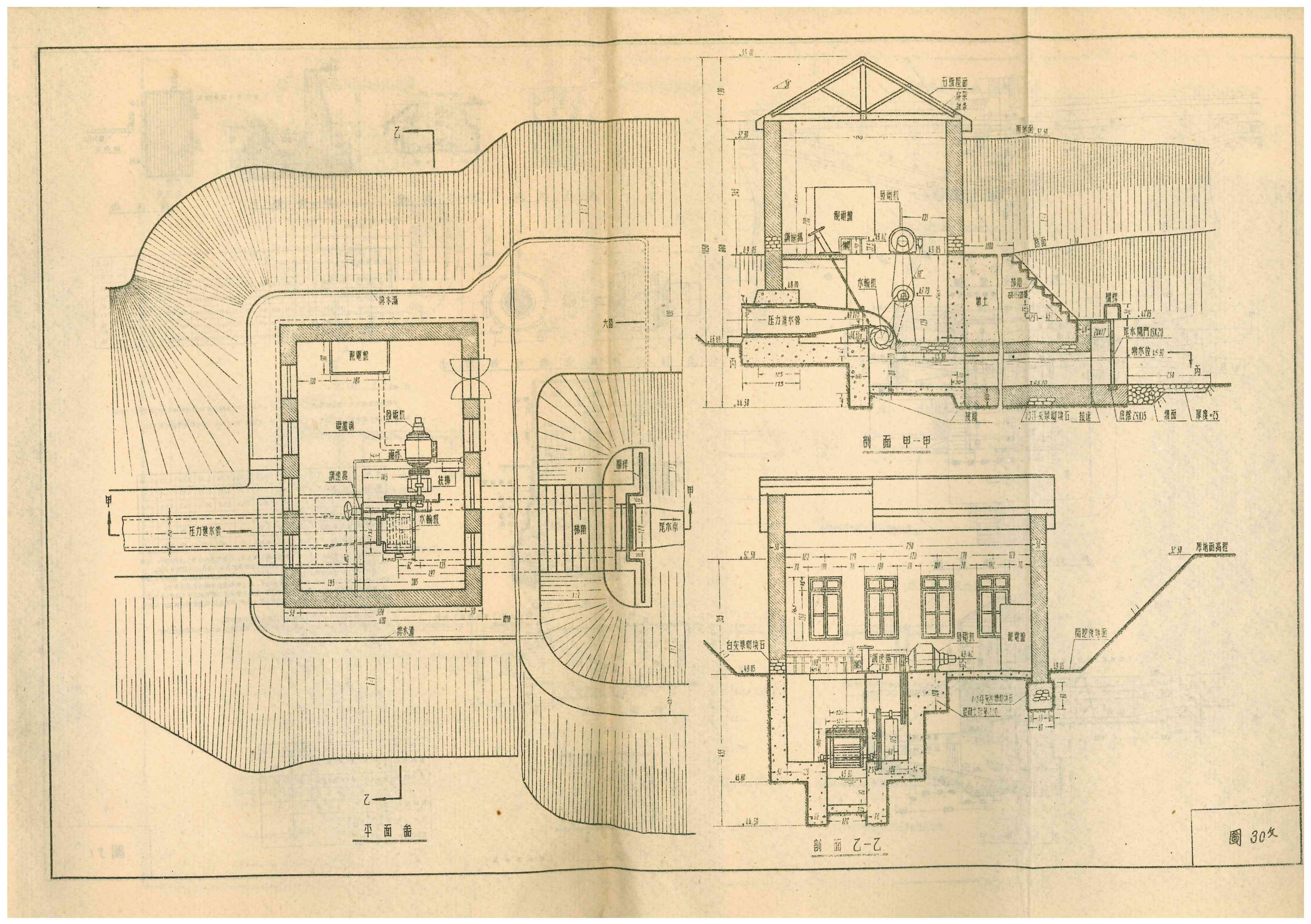
Ⅲ—Ⅲ 平面圖

主要材料用量表			
材料的名稱	單位	數量	備考
塊石	公方	30	包括進水
料石	〃	360	
洋灰	噸	29	
磚	塊	5000	
青瓦	片	6000	
鋼筋混凝土	公方	14	

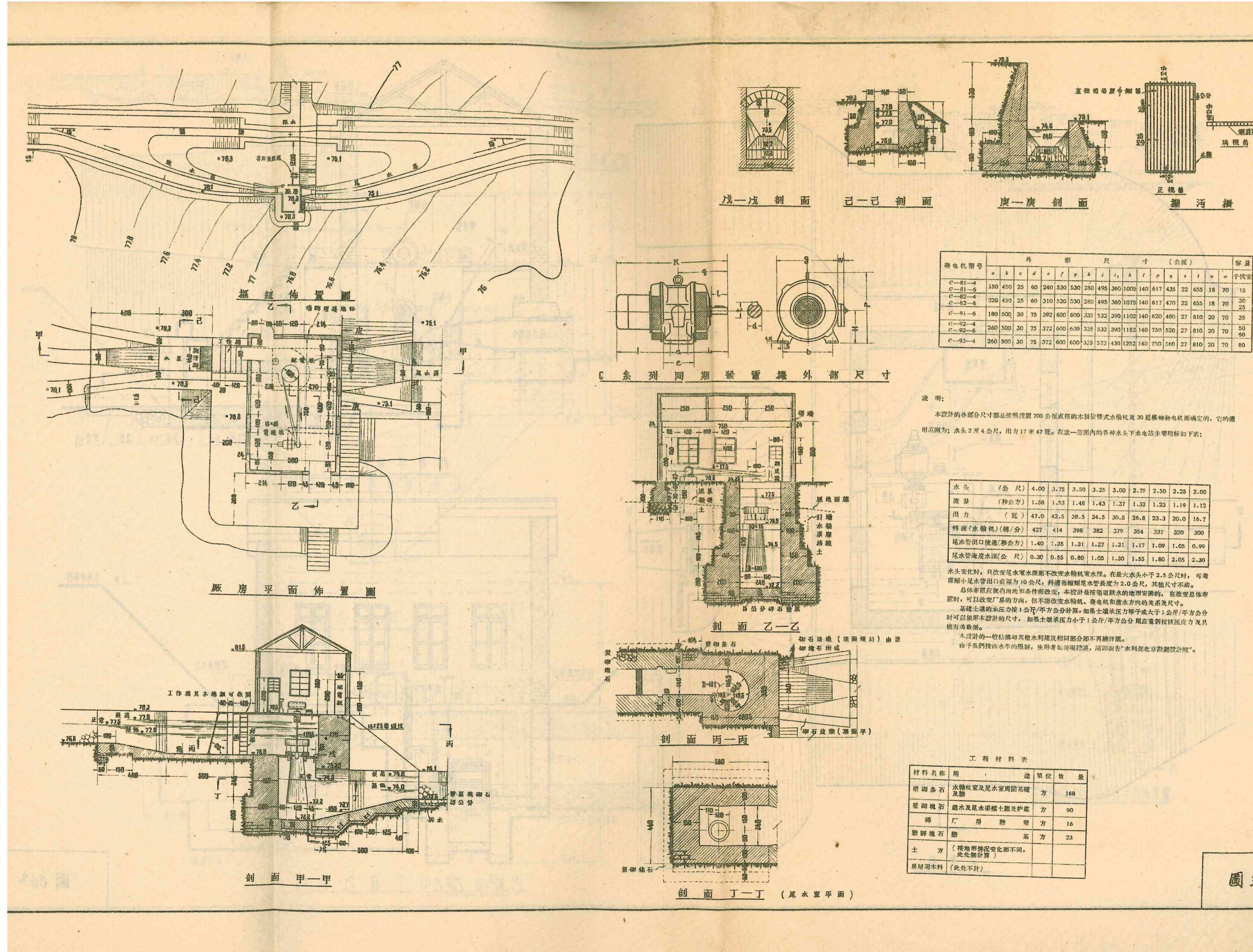
電廠及其主要設備					
電廠情況		水輪机		發電机	
形式	渠道引水式	型式	PT—101	名稱	同步發電机
水頭	6.0公尺	出力	112千瓦	出力	105千瓦
流量	2.5秒公方	直徑	74公分	電压	400/230伏
出力	105千瓦	轉速	500轉/分	轉速	500轉分
年電能	45万度	H_s	5.94公尺	功率因數	0.8
投資	123140元	製造地	重慶		

圖 29ᶜ


前池
压力管進水口
▽56.6
▽56.3（水位）
R=150
块石護坡
▽54.0
乾砌塊石
220
压力引水水管
戊一戊断面圖
石板屋頂
楼踏
廠房前視圖
尾水涵洞
水輪机軸線
压力管軸線
1:3洋灰砂漿砌块石
水輪机層平面圖 丙一丙
戊
前池
压力水管
鎮墩
电廠
尾水暗管
▽49.0
尾水閘門
公路
尾水渠道
電廠站压力引水建築平面佈置圖
圖30



排水溝
配電盤
電纜溝
發電机
調速器
水輪机
压力進水管
大路
欄桿
尾水渠
平面圖
石板屋面
配電盤
發電机
水輪机
压力進水管
填土
路面
欄桿
尾水閘門15X20
尾水位
接縫
底梁25X15
護面
厚度=25
剖面甲一甲
原地面高程
白灰漿砌塊石
調速器
發電机
配電盤
開挖後坡面
剖面乙一乙
圖 30文



發电机型号	外形尺寸（公厘）																		容量
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	i_1	k	l	p	q	s	t	u	w	千伏安
C—81—4 C—81—6	150	450	25	60	240	530	530	280	495	360	1005	140	617	435	22	655	18	70	15
C—82—4 C—82—6	220	450	25	60	310	530	530	280	495	360	1075	140	617	470	22	655	18	70	30 25
C—91—6	180	500	30	75	392	600	600	335	532	390	1102	140	620	480	27	810	20	70	35
C—92—4 C—92—6	260	500	30	75	372	600	600	335	532	390	1182	140	750	520	27	810	20	70	50 60
C—93—4	260	500	30	75	372	600	600	335	572	430	1252	140	750	560	27	810	20	70	80

說明：

本設計的各部分尺寸都是按照設置700公厘直徑的木制旋槳式水輪机及30瓩横軸發电机而確定的，它的適用范圍为：水头2至4公尺，出力17至47瓩。在这一范圍內的各种水头下水电站主要指标如下表：

水头（公尺）	4.00	3.75	3.50	3.25	3.00	2.75	2.50	2.25	2.00
流量（秒公方）	1.58	1.53	1.48	1.43	1.37	1.32	1.23	1.19	1.12
出力（瓩）	47.0	42.5	38.5	34.5	30.5	26.8	23.3	20.0	16.7
轉速（水輪机）（轉/分）	427	414	398	382	379	354	337	320	300
尾水管出口流速（秒公方）	1.40	1.35	1.31	1.27	1.21	1.17	1.09	1.05	0.99
尾水管淹沒水深（公尺）	0.30	0.55	0.80	1.05	1.30	1.55	1.80	2.05	2.30

水头变化时，只改变尾水室水深而不改变水輪机室水深。在最大水头小于2.5公尺时，可考慮縮小尾水管出口直徑为10公尺，并適当縮短尾水管長度为2.0公尺，其他尺寸不动。

总体布置应就当地地形条件而改变，本設計是按渠道跌水的地形安排的，在改变总体布置时，可以改变厂房的方向，但不能改变水輪机、發电机和進水方向的关系及尺寸。

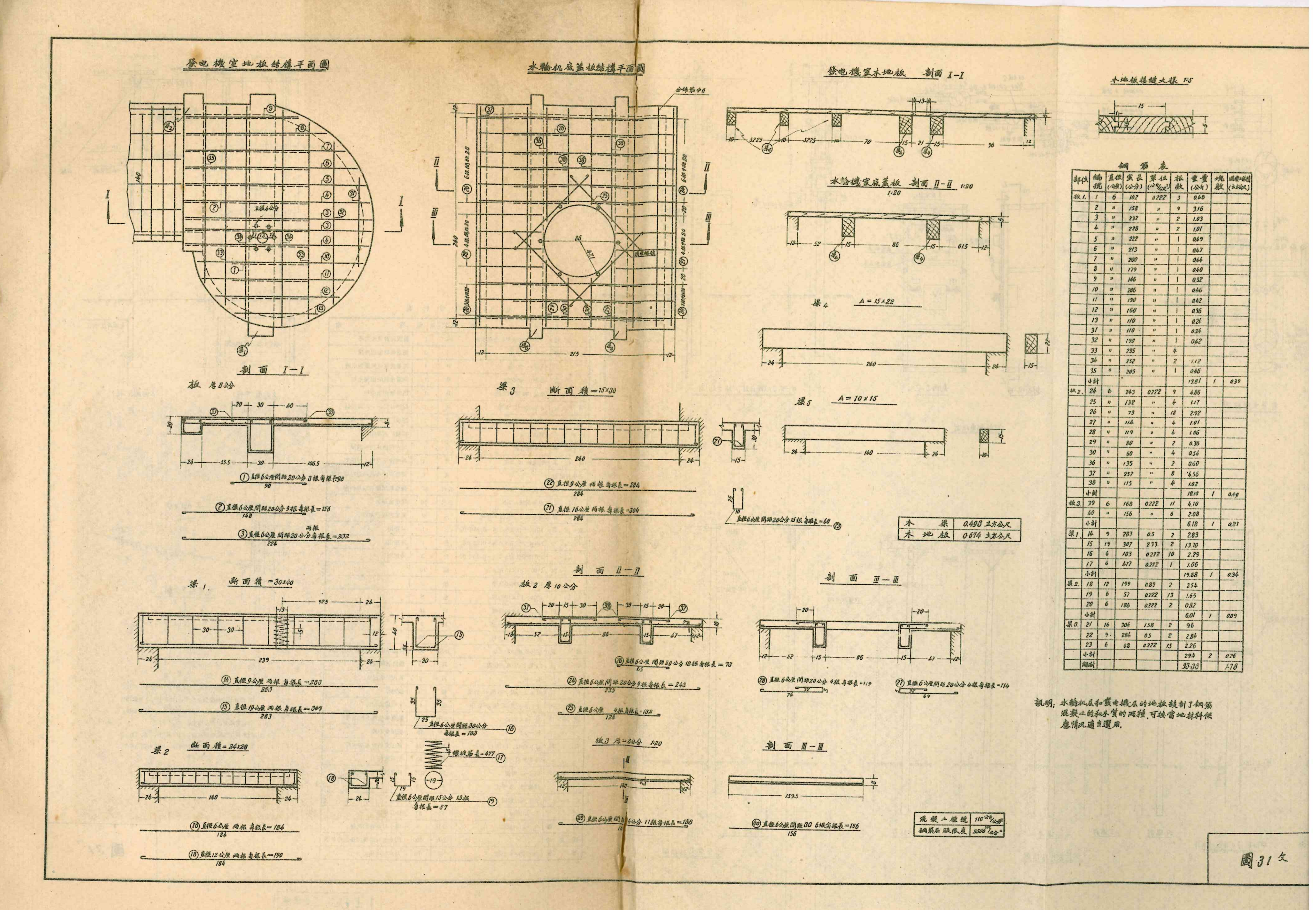
基礎土壤的承压力按1公斤/平方公分計算。如果土壤承压力等于或大于1公斤/平方公分时可以使用本設計的尺寸，如果土壤承压力小于1公斤/平方公分則应重新校核压应力及其他有关數据。

本設計的一般結構与其他水利建筑相同部分即不再繪詳圖。

由于我們技術水平的限制，使用者如發現錯誤，請即函告"水利部北京勘測設計院"。

工程材料表

材料名称	用途	單位	数量
漿砌条石	水輪机室及尾水室周圍基礎及牆	方	168
漿砌塊石	進水及尾水渠擋土牆及护底	方	90
磚	厂房牆壁	方	16
牆脚塊石	牆基	方	23
土方	（按地形情况变化而不同，此处無計算）		
房屋用木料	（此处不計）		

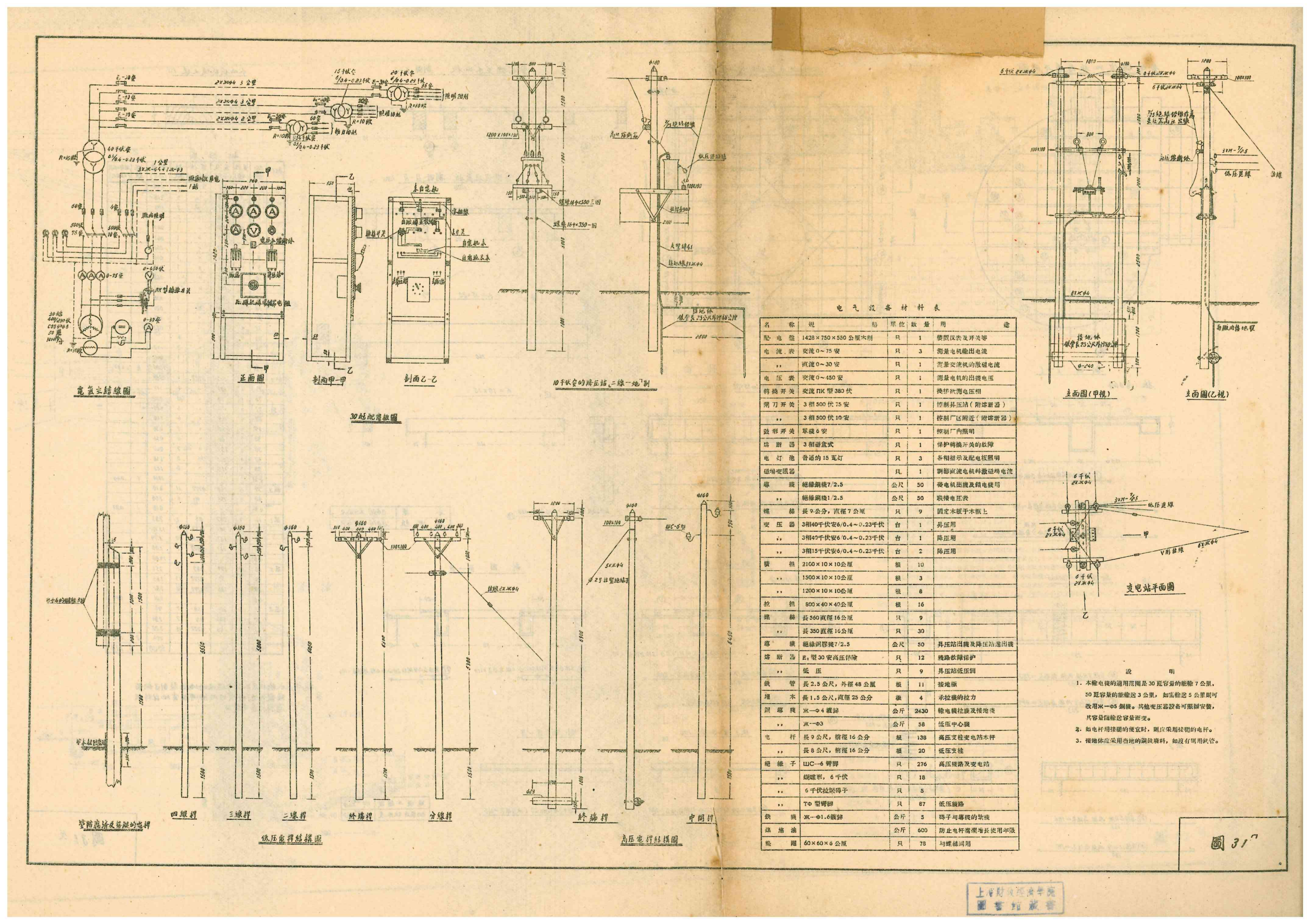


鋼筋表

部位	編號	直徑 (公厘)	實長 (公分)	單位 (公斤/公尺)	根數	重量 (公斤)	塊數	混凝土體積 (立方公尺)
板 1.	1	6	102	0222	3	0.68		
	2	"	158	"	9	3.16		
	3	"	232	"	2	1.03		
	4	"	228	"	2	1.01		
	5	"	222	"	1	0.49		
	6	"	213	"	1	0.47		
	7	"	200	"	1	0.44		
	8	"	179	"	1	0.40		
	9	"	146	"	1	0.32		
	10	"	206	"	1	0.46		
	11	"	190	"	1	0.42		
	12	"	160	"	1	0.36		
	13	"	110	"	1	0.24		
	31	"	110	"	1	0.24		
	32	"	190	"	1	0.42		
	33	"	235	"	4			
	34	"	252	"	2	1.12		
	35	"	205	"	1	0.45		
	小計					13.81	1	0.39
板 2.	24	6	243	0222	9	4.85		
	25	"	132	"	4	1.17		
	26	"	73	"	18	2.92		
	27	"	114	"	4	1.01		
	28	"	119	"	4	1.06		
	29	"	80	"	2	0.36		
	30	"	60	"	4	0.54		
	36	"	135	"	2	0.60		
	37	"	257	"	8	4.56		
	38	"	115	"	4	1.02		
	小計					18.10	1	0.49
板 3.	39	6	168	0222	11	4.10		
	40	"	156	"	6	2.08		
	小計					6.18	1	0.21
梁 1	14	9	283	0.5	2	2.83		
	15	19	307	2.33	2	13.70		
	16	6	103	0.222	10	2.29		
	17	6	477	0.222	1	1.06		
	小計					19.88	1	0.34
梁 2.	18	12	199	0.89	2	3.54		
	19	6	57	0.222	13	1.65		
	20	6	184	0.222	2	0.82		
	小計					6.01	1	0.09
梁 3.	21	16	304	1.58	2	9.6		
	22	9	284	0.5	2	2.84		
	23	6	68	0.222	15	2.26		
	小計					29.4	2	0.26
	總計					93.38		1.78

說明：水輪机層和發电機層的地板設計了鋼筋混凝土的和木質的兩種，可按當地材料供應情況適當選用。

圖 31 文



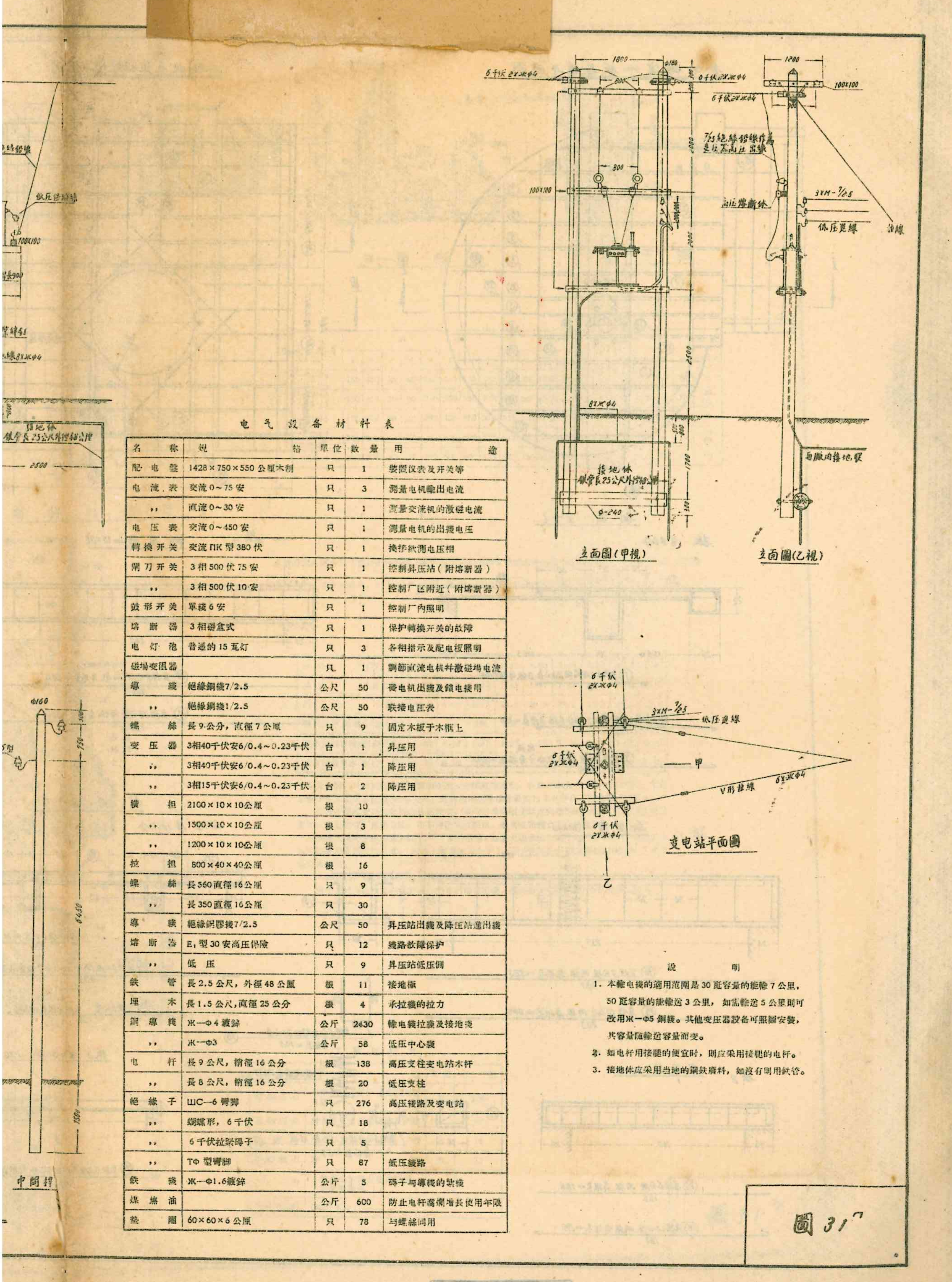
电气設备材料表

名　称	規　格	單位	數量	用　途
配電盤	1428×750×550 公厘木制	只	1	裝置仪表及开关等
电流表	交流 0～75 安	只	3	測量电机輸出电流
,,	直流 0～30 安	只	1	測量交流机的激磁电流
电压表	交流 0～450 安	只	1	測量电机的出綫电压
轉換开关	交流 ПК 型 380 伏	只	1	换接欲測电压相
閘刀开关	3 相 500 伏 75 安	只	1	控制昇压站（附熔断器）
,,	3 相 500 伏 10 安	只	1	控制厂区附近（附熔断器）
鼓形开关	單綫 6 安	只	1	控制厂內照明
熔断器	3 相磁盒式	只	1	保护轉換开关的故障
电灯泡	普通的 15 瓦灯	只	3	各相指示及配电板照明
磁場变阻器		只	1	調節直流电机幷激磁場电流
導　綫	絕緣銅綫7/2.5	公尺	50	發电机出綫及饋电綫用
,,	絕緣銅綫1/2.5	公尺	50	联接电压表
螺　絲	長 9 公分，直徑 7 公厘	只	9	固定木板于木框上
变压器	3相40千伏安6/0.4～0.23千伏	台	1	昇压用
,,	3相40千伏安6/0.4～0.23千伏	台	1	降压用
,,	3相15千伏安6/0.4～0.23千伏	台	2	降压用
横　担	2100×10×10公厘	根	10	
,,	1500×10×10公厘	根	3	
,,	1200×10×10公厘	根	8	
拉　担	800×40×40公厘	根	16	
螺　絲	長 560 直徑 16 公厘	只	9	
,,	長 350 直徑 16 公厘	只	30	
導　綫	絕緣銅膠綫7/2.5	公尺	50	昇压站出綫及降压站進出綫
熔断器	E₁ 型 30 安高压保險	只	12	綫路故障保护
,,	低　压	只	9	昇压站低压側
鉄　管	長 2.5 公尺，外徑 48 公厘	根	11	接地極
埋　木	長 1.5 公尺，直徑 25 公分	根	4	承拉綫的拉力
鋼導綫	Ж—Φ4 鍍鋅	公斤	2430	輸电綫拉綫及接地綫
,,	Ж—Φ3	公斤	58	低压中心綫
电　杆	長 9 公尺，梢徑 16 公分	根	138	高压支柱变电站木杆
,,	長 8 公尺，梢徑 16 公分	根	20	低压支柱
絕緣子	ШС—6 彎脚	只	276	高压綫路及变电站
,,	蝴蝶形，6 千伏	只	18	
,,	6 千伏拉緊磚子	只	5	
,,	TΦ 型彎脚	只	87	低压綫路
鉄　綫	Ж—Φ1.6鍍鋅	公斤	5	磚子与導綫的紮綫
煤焦油		公斤	600	防止电杆腐爛增長使用年限
墊　圈	60×60×6 公厘	只	78	与螺絲同用

說　明

1. 本輸电綫的適用范圍是 30 瓩容量的能輸 7 公里，50 瓩容量的能輸送 3 公里，如需輸送 5 公里則可改用Ж—Φ5 鋼綫。其他变压器設备可照圖安裝，其容量隨輸送容量而变。
2. 如电杆用接腿的便宜时，則应采用接腿的电杆。
3. 接地体应采用当地的鋼鉄廢料，如沒有則用鉄管。

圖 31



电气設备材料表

名称	規格	單位	数量	用途
配电盤	1428×750×550公厘木制	只	1	裝置仪表及开关等
电流表	交流0～75安	只	3	測量电机輸出电流
,,	直流0～30安	只	1	測量交流机的激磁电流
电压表	交流0～450安	只	1	測量电机的出綫电压
轉換开关	交流ПК型380伏	只	1	換接欲測电压相
閘刀开关	3相500伏75安	只	1	控制昇压站（附熔断器）
,,	3相500伏10安	只	1	控制厂区附近（附熔断器）
鼓形开关	單綫6安	只	1	控制厂內照明
熔断器	3相磁盒式	只	1	保护轉換开关的故障
电灯泡	普通的15瓦灯	只	3	各相指示及配电板照明
磁場变阻器		只	1	調節直流电机幷激磁場电流
導綫	絕緣銅綫7/2.5	公尺	50	發电机出綫及饋电綫用
,,	絕緣銅綫1/2.5	公尺	50	联接电压表
螺絲	長9公分，直徑7公厘	只	9	固定木板于木框上
变压器	3相40千伏安6/0.4～0.23千伏	台	1	昇压用
,,	3相40千伏安6/0.4～0.23千伏	台	1	降压用
,,	3相15千伏安6/0.4～0.23千伏	台	2	降压用
横担	2100×10×10公厘	根	10	
,,	1500×10×10公厘	根	3	
,,	1200×10×10公厘	根	8	
拉担	800×40×40公厘	根	16	
螺絲	長560直徑16公厘	只	9	
,,	長350直徑16公厘	只	30	
導綫	絕緣鋁膠綫7/2.5	公尺	50	昇压站出綫及降压站進出綫
熔断器	E₁型30安高压保險	只	12	綫路故障保护
,,	低压	只	9	昇压站低压側
鉄管	長2.5公尺，外徑48公厘	根	11	接地極
埋木	長1.5公尺，直徑25公分	根	4	承拉綫的拉力
鋼導綫	Ж—Φ4鍍鋅	公斤	2430	輸电綫拉綫及接地綫
,,	Ж—Φ3	公斤	58	低压中心綫
电杆	長9公尺，梢徑16公分	根	138	高压支柱变电站木杆
,,	長8公尺，梢徑16公分	根	20	低压支柱
絕緣子	ШС—6彎脚	只	276	高压綫路及变电站
,,	蝴蝶形，6千伏	只	18	
,,	6千伏拉緊碍子	只	5	
,,	TΦ型彎脚	只	87	低压綫路
鉄綫	Ж—Φ1.6鍍鋅	公斤	5	碍子与導綫的紮綫
煤焦油		公斤	600	防止电杆腐爛增長使用年限
墊圈	60×60×6公厘	只	78	与螺絲同用

說明

1. 本輸电綫的適用范圍是30瓩容量的能輸7公里，50瓩容量的能輸送3公里，如需輸送5公里則可改用Ж－Φ5鋼綫。其他变压器設备可照圖安裝，其容量隨輸送容量而变。
2. 如电杆用接腿的便宜时，則应采用接腿的电杆。
3. 接地体应采用当地的鋼鉄廢料，如沒有則用鉄管。

圖31

統一書号：1504

定价：(10)1.70